

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

United States Patent and Trademark
Office
(Box PCT)
Crystal Plaza 2
Washington, DC 20231
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year)

30 November 1998 (30.11.98)

International application No.

PCT/DE98/00850

Applicant's or agent's file reference

GR 97P8046P

International filing date (day/month/year)

23 March 1998 (23.03.98)

Priority date (day/month/year)

30 April 1997 (30.04.97)

Applicant

SCHÄFFLER, Stefan

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:

02 November 1998 (02.11.98)

☐ In a notice effecting later election filed with the International Bureau on:2. The election ☒ was☐ was not

made before the expiration of 18 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

R. E. Stoffel

Facsimile No.: (41-22) 740.14.35

Telephone No.: (41-22) 338.83.38

PCT

ANTRAG

Der Unterzeichnete beantragt, daß die vorliegende internationale Anmeldung nach dem Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens behandelt wird.

Vom Anmeldeamt auszufüllen

Internationales Aktenzeichen

Internationales Anmeldedatum

Name des Anmeldeamts und "PCT International Application"

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts (falls gewünscht)
(max. 12 Zeichen)

GR 97P8046P

Feld Nr. I BEZEICHNUNG DER ERFINDUNG

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal

Feld Nr. II ANMELDER

Name und Anschrift: (Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

Siemens Aktiengesellschaft
Wittelsbacherplatz 2
D-80333 München
DE

☐ Diese Person ist gleichzeitig Erfinder

Telefonnr.:
(089) 636-8 28 19

Telefaxnr.:
(089) 636-8 18 57

Fernschreibnr.:
52100-0 sie d

Staatsangehörigkeit (Staat):

DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):

DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten:

☐ alle Bestimmungsstaaten

☒ alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika

☐ nur die Vereinigten Staaten von Amerika

☐ die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Feld Nr. III WEITERE ANMELDER UND/ODER (WEITERE) ERFINDER

Name und Anschrift: (Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

SCHÄFFLER, Stefan
Paul-Lincke-Str. 15
D-86199 Augsburg
DE

Diese Person ist:

☐ nur Anmelder

☒ Anmelder und Erfinder

☐ nur Erfinder (Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)

Staatsangehörigkeit (Staat):

DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):

DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten:

☐ alle Bestimmungsstaaten

☐ alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika

☒ nur die Vereinigten Staaten von Amerika

☐ die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

☐ Weitere Anmelder und/oder (weitere) Erfinder sind auf einem Fortsetzungsblatt angegeben.

Feld Nr. IV ANWALT ODER GEMEINSAMER VERTRETER; ZUSTELLANSCHRIFT

Die folgende Person wird hiermit bestellt/ist bestellt worden, um für den (die) Anmelder vor den zuständigen internationalen Behörden in folgender Eigenschaft zu handeln als:

☐ Anwalt

☐ gemeinsamer Vertreter

Name und Anschrift: (Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben.)

Siemens Aktiengesellschaft
Postfach 22 16 34
D-80506 München
DE

Telefonnr.:
(089) 636-8 28 19

Telefaxnr.:
(089) 636-8 18 57

Fernschreibnr.:
52100-0 sie d

☒ Dieses Kästchen ist anzukreuzen, wenn kein Anwalt oder gemeinsamer Vertreter bestellt ist und statt dessen im obigen Feld eine spezielle Zustellanschrift angegeben ist.

Feld Nr. V BESTIMMUNG VON STAATEN

Die folgenden Bestimmungen nach Regel 4.9 Absatz a werden hiermit vorgenommen (bitte die entsprechenden Kästchen ankreuzen; wenigstens ein Kästchen muß angekreuzt werden):

Regionales Patent

- ☐ **AP ARIPO-Patent:** GH Ghana, KE Kenia, LS Lesotho, MW Malawi, SD Sudan, SZ Swasiland, UG Uganda, ZW Simbabwe und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Harare-Protokolls und des PCT ist
- ☐ **EA Eurasisches Patent:** AM Armenien, AZ Aserbaidschan, BY Belarus, KG Kirgisistan, KZ Kasachstan, MD Republik Moldau, RU Russische Föderation, TJ Tadschikistan, TM Turkmenistan und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Eurasischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☒ **EP Europäisches Patent:** AT Österreich, BE Belgien, CH und LI Schweiz und Liechtenstein, DE Deutschland, DK Dänemark, ES Spanien, FI Finnland, FR Frankreich, GB Vereinigtes Königreich, GR Griechenland, IE Irland, IT Italien, LU Luxemburg, MC Monaco, NL Niederlande, PT Portugal, SE Schweden und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Europäischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☐ **OA OAPI-Patent:** BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Zentralafrikanische Republik, CG Kongo, CI Côte d'Ivoire, CM Kamerun, GA Gabun, GN Guinea, ML Mali, MR Mauretanien, NE Niger, SN Senegal, TD Tschad, TG Togo und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat der OAPI und des PCT ist (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben)

Nationales Patent (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben):

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> AL Albanien | <input type="checkbox"/> LV Lettland |
| <input type="checkbox"/> AM Armenien | <input type="checkbox"/> MD Republik Moldau |
| <input type="checkbox"/> AT Österreich | <input type="checkbox"/> MG Madagaskar |
| <input type="checkbox"/> AU Australien | <input type="checkbox"/> MK Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien |
| <input type="checkbox"/> AZ Aserbaidschan | <input type="checkbox"/> MN Mongolei |
| <input type="checkbox"/> BA Bosnien-Herzegowina | <input type="checkbox"/> MW Malawi |
| <input type="checkbox"/> BB Barbados | <input type="checkbox"/> MX Mexiko |
| <input type="checkbox"/> BG Bulgarien | <input type="checkbox"/> NO Norwegen |
| <input type="checkbox"/> BR Brasilien | <input type="checkbox"/> NZ Neuseeland |
| <input type="checkbox"/> BY Belarus | <input type="checkbox"/> PL Polen |
| <input type="checkbox"/> CA Kanada | <input type="checkbox"/> PT Portugal |
| <input type="checkbox"/> CH und LI Schweiz und Liechtenstein | <input type="checkbox"/> RO Rumänien |
| <input type="checkbox"/> CN China | <input type="checkbox"/> RU Russische Föderation |
| <input type="checkbox"/> CU Kuba | <input type="checkbox"/> SD Sudan |
| <input type="checkbox"/> CZ Tschechische Republik | <input type="checkbox"/> SE Schweden |
| <input type="checkbox"/> DE Deutschland | <input type="checkbox"/> SG Singapur |
| <input type="checkbox"/> DK Dänemark | <input type="checkbox"/> SI Slowenien |
| <input type="checkbox"/> EE Estland | <input type="checkbox"/> SK Slowakei |
| <input type="checkbox"/> ES Spanien | <input type="checkbox"/> SL Sierra Leone |
| <input type="checkbox"/> FI Finnland | <input type="checkbox"/> TJ Tadschikistan |
| <input type="checkbox"/> GB Vereinigtes Königreich | <input type="checkbox"/> TM Turkmenistan |
| <input type="checkbox"/> GE Georgien | <input type="checkbox"/> TR Türkei |
| <input type="checkbox"/> GH Ghana | <input type="checkbox"/> TT Trinidad und Tobago |
| <input type="checkbox"/> HU Ungarn | <input type="checkbox"/> UA Ukraine |
| <input type="checkbox"/> IL Israel | <input type="checkbox"/> UG Uganda |
| <input type="checkbox"/> IS Island | <input checked="" type="checkbox"/> US Vereinigte Staaten von Amerika |
| <input type="checkbox"/> JP Japan | <input type="checkbox"/> UZ Usbekistan |
| <input type="checkbox"/> KE Kenia | <input type="checkbox"/> VN Vietnam |
| <input type="checkbox"/> KG Kirgisistan | <input type="checkbox"/> YU Jugoslawien |
| <input type="checkbox"/> KP Demokratische Volksrepublik Korea | <input type="checkbox"/> ZW Simbabwe |
| <input type="checkbox"/> KR Republik Korea | |
| <input type="checkbox"/> KZ Kasachstan | |
| <input type="checkbox"/> LC Saint Lucia | |
| <input type="checkbox"/> LK Sri Lanka | |
| <input type="checkbox"/> LR Liberia | |
| <input type="checkbox"/> LS Lesotho | |
| <input type="checkbox"/> LT Litauen | |
| <input type="checkbox"/> LU Luxemburg | |

Kästchen für die Bestimmung von Staaten (für die Zwecke eines nationalen Patents), die dem PCT nach der Veröffentlichung dieses Formblatts beigetreten sind:

Zusätzlich zu den oben genannten Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der Bestimmung von

Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter dem Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt. (Die Bestätigung einer Bestimmung erfolgt durch die Einreichung einer Mitteilung, in der diese Bestimmung angegeben wird, und die Zahlung der Bestimmungs- und der Bestätigungsgebühr. Die Bestätigung muß beim Anmeldeamt innerhalb der Frist von 15 Monaten eingehten.)

Feld Nr. VI PRIORITÄTSANSPRUCH		Weitere Prioritätsansprüche sind im Zusatzfeld angegeben. <input type="checkbox"/>	
Die Priorität der folgenden früheren Anmeldung(en) wird hiermit beansprucht:			
Staat <i>(Anmelde- oder Bestimmungsstaat der Anmeldung)</i>	Anmeldedatum <i>(Tag/Monat/Jahr)</i>	Aktenzeichen	Anmeldeamt <i>(nur bei regionaler oder internationaler Anmeldung)</i>
(1) DE	30. April 1997	197 18 424.3	
(2)			
(3)			
Dieses Kästchen ankreuzen, wenn die beglaubigte Kopie der früheren Anmeldung von dem Amt ausgestellt werden soll, das für die Zwecke dieser internationalen Anmeldung Anmeldeamt ist (eine Gebühr kann verlangt werden):			
<input checked="" type="checkbox"/> Das Anmeldeamt wird hiermit ersucht, eine beglaubigte Abschrift der oben in Zeile(n) (1) bezeichneten früheren Anmeldung(en) zu erstellen und dem Internationalen Büro zu übermitteln.			
Feld Nr. VII INTERNATIONALE RECHERCHENBEHÖRDE			
Wahl der Internationalen Recherchenbehörde (ISA) (Sind zwei oder mehr Internationale Recherchenbehörden für die internationale Recherche zuständig, ist der Name der Behörde anzugeben, die die internationale Recherche durchführen soll; Zweibuchstaben-Code genügt): ISA/			
Frühere Recherche: Auszufüllen, wenn eine Recherche (internationale Recherche, Recherche internationaler Art oder sonstige Recherche) bereits bei der internationalen Recherchenbehörde beantragt oder von ihr durchgeführt worden ist und diese Behörde nun ersucht wird, die internationale Recherche soweit wie möglich auf die Ergebnisse einer solchen früheren Recherche zu stützen. Die Recherche oder der Recherchenantrag ist durch Angabe der betreffenden Anmeldung (bzw. deren Übersetzung) oder des Recherchenantrags zu bezeichnen.			
Staat (oder regionales Amt):		Datum (Tag / Monat / Jahr):	Aktenzeichen:
Feld Nr. VIII KONTROLLISTE			
Diese internationale Anmeldung umfaßt:		Dieser internationalen Anmeldung liegen die nachstehend angekreuzten Unterlagen bei:	
1. Antrag : 3 Blätter	2. Beschreibung : 23 Blätter	3. Ansprüche : 6 Blätter	4. Zusammenfassung: 1 Blätter
5. Zeichnungen : 2 Blätter	Insgesamt : 35 Blätter		
		1. <input type="checkbox"/> Unterzeichnete gesonderte Vollmacht	5. <input type="checkbox"/> Blatt für die Gebührenberechnung
		2. <input type="checkbox"/> Kopie der allgemeinen Vollmacht	6. <input type="checkbox"/> Gesonderte Angaben zu hinterlegten Mikroorganismen
		3. <input type="checkbox"/> Begründung für das Fehlen der Unterschrift	7. <input type="checkbox"/> Sequenzprotokolle für Nucleotide und/oder Aminosäuren (Diskette)
		4. <input type="checkbox"/> Prioritätsbelege(e) (durch die Zeilennummer von Feld Nr. VI kennzeichnen):	8. <input checked="" type="checkbox"/> Sonstige (einzeln auflisten):
		Kopie d. Ursprungsfassung	
Abbildung Nr. 1 der Zeichnungen (falls vorhanden) soll mit der Zusammenfassung veröffentlicht werden.			
Feld Nr. IX UNTERSCHRIFT DES ANMELDERS ODER DES ANWALTS			
Der Name jeder unterzeichnenden Person ist neben der Unterschrift zu wiederholen, und es ist anzugeben, sofern sich dies nicht eindeutig aus dem Antrag ergibt, in welcher Eigenschaft die Person unterzeichnet.			
Siemens Aktiengesellschaft			
i.v. Margraf		Stefan Schäffler	
Nr. 144/74 Ang.-AV			
Vom Anmeldeamt auszufüllen			
1. Datum des tatsächlichen Eingangs dieser internationalen Anmeldung:		2. Zeichnungen <input type="checkbox"/> eingegangen: <input type="checkbox"/> nicht eingegangen:	
3. Geändertes Eingangsdatum aufgrund nachträglich, jedoch fristgerecht eingegangener Unterlagen oder Zeichnungen zur Vervollständigung dieser internationalen Anmeldung:			
4. Datum des fristgerechten Eingangs der angeforderten Richtigstellungen nach Artikel 11(2) PCT:			
5. Vom Anmelder benannte Internationale Recherchenbehörde: ISA/		6. <input type="checkbox"/> Übermittlung des Recherchenexemplars bis zur Zahlung der Recherchegebühr aufgeschoben	
Vom Internationalen Büro auszufüllen			
Datum des Einganges des Aktenexemplars beim Internationalen Büro:			

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM
GEBIET DES PATENTWESENS

Absender: MIT DER INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN
PRÜFUNG BEAUFTRAGTE BEHÖRDE

An:

SIEMENS AG
Postfach 22 16 34
D-80506 München
ALLEMAGNE

ZT GG VM Mch P/Ri

Eing. 07. Sep. 1999

GR
Frist

PCT

MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERSENDUNG
DES INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN
PRÜFUNGSBERICHTS
(Regel 71.1 PCT)

Absendedatum
(Tag/Monat/Jahr)

06.09.99

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts
GR 97P8046P

WICHTIGE MITTEILUNG

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE98/00850

Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr)
23/03/1998

Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)
30/04/1997

Anmelder

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.

1. Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß ihm die mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde hiermit den zu der internationalen Anmeldung erstellten internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen, übermittelt.
2. Eine Kopie des Berichts wird - gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen - dem internationalen Büro zur Weiterleitung an alle ausgewählten Ämter übermittelt.
3. Auf Wunsch eines ausgewählten Amtes wird das Internationale Büro eine Übersetzung des Berichts (jedoch nicht der Anlagen) ins Englische anfertigen und diesem Amt übermitteln.
4. **ERINNERUNG**

Zum Eintritt in die nationale Phase hat der Anmelder vor jedem ausgewählten Amt innerhalb von 30 Monaten ab dem Prioritätsdatum (oder in manchen Ämtern noch später) bestimmte Handlungen (Einreichung von Übersetzungen und Entrichtung nationaler Gebühren) vorzunehmen (Artikel 39 (1)) (siehe auch die durch das Internationale Büro im Formblatt PCT/IB/301 übermittelte Information).

Ist einem ausgewählten Amt eine Übersetzung der internationalen Anmeldung zu übermitteln, so muß diese Übersetzung auch Übersetzungen aller Anlagen zum internationalen vorläufigen Prüfungsbericht enthalten. Es ist Aufgabe des Anmelders, solche Übersetzungen anzufertigen und den betroffenen ausgewählten Ämtern direkt zuzuleiten.

Weitere Einzelheiten zu den maßgebenden Fristen und Erfordernissen der ausgewählten Ämter sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.

Name und Postanschrift der mit der internationalen Prüfung beauftragten Behörde

Europäisches Patentamt
D-80298 München
Tel. (+49-89) 2399-0 Tx: 523656 epmu d
Fax: (+49-89) 2399-4465

Bevollmächtigter Bediensteter

Seewald, P

Tel. (+49-89) 2399-8245

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM
GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT



(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97P8046P	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416)	
Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/00850	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 23/03/1998	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 30/04/1997
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK H03M13/00		
Anmelder SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.		

1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 6 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.
- ☒ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).
- Diese Anlagen umfassen insgesamt 4 Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- I ☒ Grundlage des Berichts
- II ☐ Priorität
- III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderische Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
- VII ☒ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- VIII ☐ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags 02/11/1998	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 06.09.99
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. (+49-89) 2399-0 Tx: 523656 epmu d Fax: (+49-89) 2399-4465	Bevollmächtigter Bediensteter Farman, T Tel. Nr. (+49-89) 2399 2246 

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/00850

I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

Beschreibung, Seiten:

2-9,12-22,24-28 ursprüngliche Fassung

1,10,11,23 eingegangen am 14/07/1999 mit Schreiben vom 13/07/1999

Patentansprüche, Nr.:

1-19 ursprüngliche Fassung

Zeichnungen, Blätter:

1/2,2/2 ursprüngliche Fassung

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung, Seiten:
- ☐ Ansprüche, Nr.:
- ☐ Zeichnungen, Blatt:

3. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	3, 4, 6-9, 11-13, 15, 16, 18, 19
	Nein: Ansprüche	1, 2, 5, 10, 14, 17
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	3, 4, 15, 16
	Nein: Ansprüche	1, 2, 5, 6-14, 17-19
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-19
	Nein: Ansprüche	

2. Unterlagen und Erklärungen

siehe Beiblatt

VII. Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung

Es wurde festgestellt, daß die internationale Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:

siehe Beiblatt

Allgemeines

Die folgenden Dokumente werden in diesem Prüfungsbericht herangezogen:

D1: Yu-Li You and M. Kaveh, "BLIND EQUALISATION BY ALTERNATING MINIMIZATION FOR APPLICATIONS TO MOBILECOMMUNICATIONS", Globecom '95, IEEE Global Telecommunications Conference, Singapore, Nov. 14-16 1995, Bd. 1, Seiten 88-92. (XP621461).

D2: IEEE Transactions on Communications, vol. 37, No.7, 07 July 1989, P. Chevillat & E. Eleftheriou, "Decoding of Trellis-Encoded Signals in the Presence of Intersymbol Interference and Noise". (XP38496).

Betr. Sektion V

Mangelnde Neuheit

Der Gegenstand von **Anspruch 1** ist nicht neu, weil Dokument D2 ein Verfahren zur gemeinsamen Viterbi-Dekodierung, -Entzerrung und Kanalschätzung mit allen Merkmalen von anspruch 1 offenbart. Das Verfahren aus D2 wird an der ersten Seite, rechte Spalte, dritter Absatz zusammengefaßt. Weiterhin zeigt die Figur 2 von D2, daß das zu ermittelnde Signal Redundanzinformation enthält, und die letzte Zeile der Seite 670 offenbart, daß Zuverlässigkeitsmaße als Dekodierungsergebnis ermittelt werden. Darüber hinaus wird in D2, Seite 673, Sektion "IV: An Adaptive Receiver", eine Weiterbildung der in den vorangehenden Sektionen beschriebenen Verfahren offenbart, bei dem ein Modell des Übertragungskanal optimiert wird (vgl. D2, Seite 673, Sektion IV, Absatz 1 und Figur 6 mit dazugehöriger Textpassage).

Die in **Anspruch 10** definierte Anordnung ist aus den mit Bezug auf Anspruch 1 bereits ausgeführten Gründen ebenfalls nicht neu.

Das Verfahren nach **Anspruch 2** und die Anordnung nach **Anspruch 14** sind nicht neu, weil bei D2 mehrere Bits (also mehrere Signalwerte) dekodiert werden.

Das Verfahren nach **Anspruch 5** und die Anordnung nach **Anspruch 17** sind

nicht neu, weil bei D2 eine Zielfunktion einer globalen Minimierung unterzogen wird (vgl. D1, Gleichung 26, und Text dazu).

Mangelnde erfinderische Tätigkeit

Das Verfahren nach **Anspruch 6** beruht nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil es naheliegend ist, je nach Bedarf aus dem gemäß D2 ermittelten Zuverlässigkeitsmaß (soft output) einen digitalen Wert (hard output) zu konstruieren. Es wird auch darauf hingewiesen, daß ein Zuverlässigkeitsmaß üblicherweise als positive Zahl dargestellt wird. Eine binäre N-Bit Zahl kann jedoch grundsätzlich als vorzeichenbehaftete Zahl interpretiert werden, bei der das erste Bit eine Vorzeicheninformation darstellt, und die weiteren Bits eine Betragsinformation darstellen.

Das Verfahren nach **Anspruch 7** beruht nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil es naheliegend wäre, bei dem Verfahren aus D2 die sog. "tail-biting" technik zu verwenden, die bekanntlicherweise ermöglicht, bei Bedarf einen Faltungscode als Blockcode zu gestalten.

Die Verfahren nach den **Ansprüchen 8 und 9** beruhen nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil sie lediglich die zwei üblichen Anwendungsgebiete von Fehlerkorrektur und Entzerrung definieren. Dasselbe gilt für korrespondierende **Vorrichtungsansprüche 18 und 19**.

Die Anordnungen nach den **Ansprüchen 11 bis 13** beruhen nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil sie lediglich übliche Merkmale von Empfangseinrichtungen definieren.

Neuheit und erfinderische Tätigkeit

Der Gegenstand der **Ansprüche 3, 4, 15 und 16** ist neu und beruht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil die Verwendung eines nichtlinearen Regressionsmodells in das aus D2 bekannte Verfahren von den verfügbaren Dokumenten weder bekannt noch nahegelegt wird.

Es wird darauf hingewiesen, daß die aus Dokument D1 zu entnehmende Lehre den Fachmann nicht ohne erfinderisches Zutun zum Gegenstand der Ansprüche 1 bis 19 führen würde. D1 betrifft ein Verfahren zur gemeinsam Viterbi-Entzerrung und Kanalschätzung, bei dem das zu ermittelnde Signal keine Redundanzinformation enthält. In Gegensatz dazu definiert Anspruch 1 ein Verfahren zur gemeinsamen Viterbi-Dekodierung und Kanalschätzung, bei dem das zu ermittelnde Signal Redundanzinformation enthält.

Betr. Sektion VII

Dokument D2 wäre in der Beschreibungseinleitung zu würdigen (Regel 5.1 (a) (ii) PCT)

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal

5

Ziel der von Claude Shannon 1948 begründeten Informationstheorie ist es, leistungsfähige Codes zur Codierung, Übertragung und Decodierung digitaler Daten zu entwickeln und bei der Decodierung die verfügbaren Informationen der codierten Daten möglichst optimal auszunutzen.

10

Aus [5] ist eine Identifikation eines Übertragungskanals zur Übertragung digitaler Daten bekannt.

15 Bei der Decodierung digitaler Daten wird zwischen zwei Arten der Decodierung unterschieden:

- Bei der sog. Hard-Decision-Decodierung wird eine empfangenes, durch die Übertragung über einen Kanal verrauschtes Signal in eine Folge digitaler Daten decodiert, wobei lediglich der digitale Wert des jeweils empfangenen Signals klassifiziert wird;
- bei der sog. Soft-Decision-Decodierung wird für jedes zu decodierende Informationszeichen zusätzlich eine A posteriori-Wahrscheinlichkeit für den zu klassifizierenden Wert ermittelt. Solche A posteriori-Wahrscheinlichkeiten werden auch als Soft-Outputs bezeichnet und bilden ein Maß für die Zuverlässigkeit der Decodierung.

20

25

Im weiteren wird die Soft-Decision-Decodierung betrachtet.
30 Grundlagen über sog. Block-Codes sind aus [2] bekannt.

Aus [3] ist es bekannt, für einen binären linearen Blockcode eine Soft-Decision-Decodierung durchzuführen.

35 Im weiteren wird das Verfahren aus [3] zur exakten Berechnung digitaler Signalwerte aus einem elektrischen Signal unter Verwendung der sog. Log-Likelihood-Algebra erläutert.

Die Anordnung gemäß Patentanspruch 10 enthält eine Recheneinheit, die derart eingerichtet ist, daß aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwertes approximiert wird und daß abhängig von dem Zuverlässigkeits-
5 maß der Signalwert ermittelt wird.

Ferner erfolgt bei dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 und bei der Anordnung gemäß Patentanspruch 10 jeweils die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart, daß eine Zielfunktion optimiert wird, wobei die Zielfunktion ein Modell eines Übertragungskanals, über den das elektrische Signal übertragen wurde, enthält.
10

Durch die Approximation des bisher exakt zu ermittelnden Zuverlässigkeitsmaßes, von dem abhängig der Signalwert ermittelt wird, wird eine erhebliche Vereinfachung bei der Ermittlung des digitalen Signalwertes erreicht. Dies führt zu einer erheblich schnelleren Durchführbarkeit des Verfahrens durch einen Rechner bzw. zur erheblichen Einsparung an Kosten für die Realisierung der Anordnung zur Ermittlung des digitalen Signalwerts. Damit wird häufig erst eine numerische Lösung der Soft-Decision-Decodierung überhaupt möglich.
15
20

Anschaulich ist die Erfindung darin zu sehen, daß das bisher lediglich exakt berechenbare Zuverlässigkeitsmaß approximiert wird.
25

Durch die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes durch die Optimierung der Zielfunktion ist eine sehr einfache und somit schnell durchführbare Möglichkeit angegeben, die sogar die Eigenschaften des Übertragungskanals und somit die Störeigenschaften des gestörten Signals berücksichtigt.
30

Die Minimierung der Zielfunktion, die als Approximationskriterium die Eigenschaften des Kanals in Form des Modells enthält, führt dazu, daß die Effizienz des Verfahrens bzw. der
35

Anordnung erheblich verbessert wird. Durch diese Weiterbildung wird eine gegenüber bekannten Verfahren bei gleicher Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei der Ermittlung der digitalen Signalwerte eine erhebliche Reduktion des Signal-/Rausch-

- 5 Verhältnisses $\frac{N_0}{E_b}$ erreicht. Die Verbesserung des Signal-

/Rauschverhältnisses beträgt je nach verwendeter Kanalcodierung bis annähernd 3 dB, was der theoretisch maximal erreichbaren Verbesserung entspräche.

- 10 Schon eine Einsparung von 1 dB kann beispielsweise bei der Funkübertragung von Raumsonden zu einer Kostenersparnis von etwa 75 Mio US-\$ bei dem Bau der Raumsonde führen. Somit wird auch für den Sender erhebliche Kosteneinsparung möglich, wenn die Decodierung nach dieser Weiterbildung erfolgt, bzw. die
- 15 Anordnung gemäß der Weiterbildung derart eingerichtet ist, daß die Approximation durch Optimierung einer Zielfunktion, die ein Modell des Übertragungskanals enthält, erfolgt, erreicht wird.
- 20 Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Ferner ist es in einer Weiterbildung sowohl des Verfahrens als auch der Anordnung vorteilhaft, daß die Zielfunktion nach

25 folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) - \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i \right)^2$$

- Hierbei ist eine veränderte Skalierung oder eine leichte Abänderung und Vernachlässigung einiger Werte in der Zielfunktion sowie der Grad der Zählerfunktion (Grad der Zielfunktion) nicht wesentlich und kann beliebig verändert werden.
- 30

Durch diese Zielfunktion ist ein Modell angegeben für den Übertragungskanal, in dem die angenommenen Modelleigenschaften

Im Rahmen dieses Dokumentes wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

- 5 [1] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5 S. 1-30, 1996
- 10 [2] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, Se. 69-125, S. 193-242, 1996
- 15 [3] J. Hagenauer et al, Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes, IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 42, 1996
- 20 [4] S. Schäffler, Unconstrained Global Optimization Using Stochastic Integral Equations, Optimization, Vol. 35, S. 43-60, 1995
- 25 [5] Yu-Li You and M. Kaveh, "Blind Equalisation by Alternating Minimization for Applications to Mobilecommunications", Globecom '95, IEEE Global Telecommunications Conference, Singapore, Nov. 14-16 1995, Bd. 1. Seiten 88-92, XP621461

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

Absender: INTERNATIONALE RECHERCHENBEHÖRDE

PCT

An SIEMENS AG Postfach 22 16 34 D-80506 München GERMANY	ZT GG VM Moh M 21 OKT. 1998 Eing. GR Frist
---	--

MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERMITTLUNG DES
INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHTS
ODER DER ERKLÄRUNG

(Regel 44.1 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97P8046P	Absendedatum (Tag/Monat/Jahr) 19/10/1998
Internationales Aktenzeichen PCT/DE 98/00850	WEITERES VORGEHEN siehe Punkt 1 und 4 unten Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 23/03/1998
Anmelder SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.	

1. ☒ Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß der internationale Recherchenbericht erstellt wurde und ihm hiermit übermittelt wird.
Einreichung von Änderungen und einer Erklärung nach Artikel 19:
Der Anmelder kann auf eigenen Wunsch die Ansprüche der internationalen Anmeldung ändern (siehe Regel 46):
Bis wann sind Änderungen einzureichen?
Die Frist zur Einreichung solcher Änderungen beträgt üblicherweise zwei Monate ab der Übermittlung des internationalen Recherchenberichts; weitere Einzelheiten sind den Anmerkungen auf dem Beiblatt zu entnehmen.
Wo sind die Änderungen einzureichen?
Unmittelbar beim Internationalen Büro der WIPO, 34, CHEMIN des Colombettes, CH-1211 Genf 20,
Telefaxnr.: (41-22) 740.14.35
Nähere Hinweise sind den Anmerkungen auf dem Beiblatt zu entnehmen.
2. ☐ Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß kein internationaler Recherchenbericht erstellt wird und daß ihm hiermit die Erklärung nach Artikel 17(2)a) übermittelt wird.
3. ☐ Hinsichtlich des Widerspruchs gegen die Entrichtung einer zusätzlichen Gebühr (zusätzlicher Gebühren) nach Regel 40.2 wird dem Anmelder mitgeteilt, daß
☐ der Widerspruch und die Entscheidung hierüber zusammen mit seinem Antrag auf Übermittlung des Wortlauts sowohl des Widerspruchs als auch der Entscheidung hierüber an die Bestimmungssämter dem Internationalen Büro übermittelt worden sind.
☐ noch keine Entscheidung über den Widerspruch vorliegt; der Anmelder wird benachrichtigt, sobald eine Entscheidung getroffen wurde.
4. **Weiteres Vorgehen:** Der Anmelder wird auf folgendes aufmerksam gemacht:
Kurz nach Ablauf von **18 Monaten** seit dem Prioritätsdatum wird die internationale Anmeldung vom Internationalen Büro veröffentlicht. Will der Anmelder die Veröffentlichung verhindern oder auf einen späteren Zeitpunkt verschieben, so muß gemäß Regel 90 bis 90^{ter} 3 vor Abschluß der technischen Vorbereitungen für die internationale Veröffentlichung eine Erklärung über die Zurücknahme der internationalen Anmeldung oder des Prioritätsanspruchs beim Internationalen Büro eingehen.
Innerhalb von **19 Monaten** seit dem Prioritätsdatum ist ein Antrag auf internationale vorläufige Prüfung einzureichen, wenn der Anmelder den Eintritt in die nationale Phase bis zu 30 Monaten seit dem Prioritätsdatum (in manchen Ämtern sogar noch länger) verschieben möchte.
Innerhalb von **20 Monaten** seit dem Prioritätsdatum muß der Anmelder die für den Eintritt in die nationale Phase vorgeschriebenen Handlungen vor allen Bestimmungssämtern vornehmen, die nicht innerhalb von 19 Monaten seit dem Prioritätsdatum in der Anmeldung oder einer nachträglichen Auswahlerklärung ausgewählt wurden oder nicht ausgewählt werden konnten, da für sie Kapitel II des Vertrages nicht verbindlich ist.

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Eric Walsh
---	---

ANMERKUNGEN ZU FORMBLATT PCT/ISA/220

Diese Anmerkungen sollen grundlegende Hinweise zur Einreichung von Änderungen gemäß Artikel 19 geben. Diesen Anmerkungen liegen die Erfordernisse des Vertrags über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens (PCT), der Ausführungsordnung und der Verwaltungsrichtlinien zu diesem Vertrag zugrunde. Bei Abweichungen zwischen diesen Anmerkungen und obengenannten Texten sind letztere maßgebend. Nähere Einzelheiten sind dem PCT-Leitfaden für Anmelder, einer Veröffentlichung der WIPO, zu entnehmen.

Die in diesen Anmerkungen verwendeten Begriffe "Artikel", "Regel" und "Abschnitt" beziehen sich jeweils auf die Bestimmungen des PCT-Vertrags, der PCT-Ausführungsordnung bzw. der PCT-Verwaltungsrichtlinien.

HINWEISE ZU ÄNDERUNGEN GEMÄSS ARTIKEL 19

Nach Erhalt des internationalen Recherchenberichts hat der Anmelder die Möglichkeit, einmal die Ansprüche der internationalen Anmeldung zu ändern. Es ist jedoch zu betonen, daß, da alle Teile der internationalen Anmeldung (Ansprüche, Beschreibung und Zeichnungen) während des internationalen vorläufigen Prüfungsverfahrens geändert werden können, normalerweise keine Notwendigkeit besteht, Änderungen der Ansprüche nach Artikel 19 einzureichen, außer wenn der Anmelder z.B. zum Zwecke eines vorläufigen Schutzes die Veröffentlichung dieser Ansprüche wünscht oder ein anderer Grund für eine Änderung der Ansprüche vor ihrer internationalen Veröffentlichung vorliegt. Weiterhin ist zu beachten, daß ein vorläufiger Schutz nur in einigen Staaten erhältlich ist.

Welche Teile der internationalen Anmeldung können geändert werden?

Im Rahmen von Artikel 19 können nur die Ansprüche geändert werden.

In der internationalen Phase können die Ansprüche auch nach Artikel 34 vor der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde geändert (oder nochmals geändert) werden. Die Beschreibung und die Zeichnungen können nur nach Artikel 34 vor der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde geändert werden.

Beim Eintritt in die nationale Phase können alle Teile der internationalen Anmeldung nach Artikel 28 oder gegebenenfalls Artikel 41 geändert werden.

Bis wann sind Änderungen einzureichen?

Innerhalb von zwei Monaten ab der Übermittlung des internationalen Recherchenberichts oder innerhalb von sechzehn Monaten ab dem Prioritätsdatum, je nachdem, welche Frist später abläuft. Die Änderungen gelten jedoch als rechtzeitig eingereicht, wenn sie dem Internationalen Büro nach Ablauf der maßgebenden Frist, aber noch vor Abschluß der technischen Vorbereitungen für die internationale Veröffentlichung (Regel 46.1) zugehen.

Wo sind die Änderungen nicht einzureichen?

Die Änderungen können nur beim Internationalen Büro, nicht aber beim Anmeldeamt oder der Internationalen Recherchenbehörde eingereicht werden (Regel 46.2).

Falls ein Antrag auf internationale vorläufige Prüfung eingereicht wurde/wird, siehe unten.

In welcher Form können Änderungen erfolgen?

Eine Änderung kann erfolgen durch Streichung eines oder mehrerer ganzer Ansprüche, durch Hinzufügung eines oder mehrerer neuer Ansprüche oder durch Änderung des Wortlauts eines oder mehrerer Ansprüche in der eingereichten Fassung.

Für jedes Anspruchsblatt, das sich aufgrund einer oder mehrerer Änderungen von dem ursprünglich eingereichten Blatt unterscheidet, ist ein Ersatzblatt einzureichen.

Alle Ansprüche, die auf einem Ersatzblatt erscheinen, sind mit arabischen Ziffern zu numerieren. Wird ein Anspruch gestrichen, so brauchen, die anderen Ansprüche nicht neu numeriert zu werden. Im Fall einer Neunummerierung sind die Ansprüche fortlaufend zu numerieren (Verwaltungsrichtlinien, Abschnitt 205 b)).

Die Änderungen sind in der Sprache abzufassen, in der die internationale Anmeldung veröffentlicht wird.

Welche Unterlagen sind den Änderungen beizufügen?

Begleitschreiben (Abschnitt 205 b)):

Die Änderungen sind mit einem Begleitschreiben einzureichen.

Das Begleitschreiben wird nicht zusammen mit der internationalen Anmeldung und den geänderten Ansprüchen veröffentlicht. Es ist nicht zu verwechseln mit der "Erklärung nach Artikel 19(1)" (siehe unten, "Erklärung nach Artikel 19 (1)").

Das Begleitschreiben ist nach Wahl des Anmelders in englischer oder französischer Sprache abzufassen. Bei englischsprachigen internationalen Anmeldungen ist das Begleitschreiben aber ebenfalls in englischer, bei französischsprachigen internationalen Anmeldungen in französischer Sprache abzufassen.

ANMERKUNGEN ZU FORMBLATT PCT/ISA/220 (Fortsetzung)

Im Begleitschreiben sind die Unterschiede zwischen den Ansprüchen in der eingereichten Fassung und den geänderten Ansprüchen anzugeben. So ist insbesondere zu jedem Anspruch in der internationalen Anmeldung anzugeben (gleichlautende Angaben zu verschiedenen Ansprüchen können zusammengefaßt werden), ob

- i) der Anspruch unverändert ist;
- ii) der Anspruch gestrichen worden ist;
- iii) der Anspruch neu ist;
- iv) der Anspruch einen oder mehrere Ansprüche in der eingereichten Fassung ersetzt;
- v) der Anspruch auf die Teilung eines Anspruchs in der eingereichten Fassung zurückzuführen ist.

Im folgenden sind Beispiele angegeben, wie Änderungen im Begleitschreiben zu erläutern sind:

1. [Wenn anstelle von ursprünglich 48 Ansprüchen nach der Änderung einiger Ansprüche 51 Ansprüche existieren]:
"Die Ansprüche 1 bis 29, 31, 32, 34, 35, 37 bis 48 werden durch geänderte Ansprüche gleicher Numerierung ersetzt; Ansprüche 30, 33 und 36 unverändert; neue Ansprüche 49 bis 51 hinzugefügt."
2. [Wenn anstelle von ursprünglich 15 Ansprüchen nach der Änderung aller Ansprüche 11 Ansprüche existieren]:
"Geänderte Ansprüche 1 bis 11 treten an die Stelle der Ansprüche 1 bis 15."
3. [Wenn ursprünglich 14 Ansprüche existierten und die Änderungen darin bestehen, daß einige Ansprüche gestrichen werden und neue Ansprüche hinzugefügt werden]:
"Ansprüche 1 bis 6 und 14 unverändert; Ansprüche 7 bis 13 gestrichen; neue Ansprüche 15, 16 und 17 hinzugefügt. "Oder" Ansprüche 7 bis 13 gestrichen; neue Ansprüche 15, 16 und 17 hinzugefügt; alle übrigen Ansprüche unverändert."
4. [Wenn verschiedene Arten von Änderungen durchgeführt werden]:
"Ansprüche 1-10 unverändert; Ansprüche 11 bis 13, 18 und 19 gestrichen; Ansprüche 14, 15 und 16 durch geänderten Anspruch 14 ersetzt; Anspruch 17 in geänderte Ansprüche 15, 16 und 17 unterteilt; neue Ansprüche 20 und 21 hinzugefügt."

"Erklärung nach Artikel 19(1)" (Regel 46.4)

Den Änderungen kann eine Erklärung beigefügt werden, mit der die Änderungen erläutert und ihre Auswirkungen auf die Beschreibung und die Zeichnungen dargelegt werden (die nicht nach Artikel 19 (1) geändert werden können).

Die Erklärung wird zusammen mit der internationalen Anmeldung und den geänderten Ansprüchen veröffentlicht.

Sie ist in der Sprache abzufassen, in der die internationale Anmeldung veröffentlicht wird.

Sie muß kurz gehalten sein und darf, wenn in englischer Sprache abgefaßt oder ins Englische übersetzt, nicht mehr als 500 Wörter umfassen.

Die Erklärung ist nicht zu verwechseln mit dem Begleitschreiben, das auf die Unterschiede zwischen den Ansprüchen in der eingereichten Fassung und den geänderten Ansprüchen hinweist, und ersetzt letzteres nicht. Sie ist auf einem gesonderten Blatt einzureichen und in der Überschrift als solche zu kennzeichnen, vorzugsweise mit den Worten "Erklärung nach Artikel 19 (1)".

Die Erklärung darf keine herabsetzenden Äußerungen über den internationalen Recherchenbericht oder die Bedeutung von in dem Bericht angeführten Veröffentlichungen enthalten. Sie darf auf im internationalen Recherchenbericht angeführte Veröffentlichungen, die sich auf einen bestimmten Anspruch beziehen, nur im Zusammenhang mit einer Änderung dieses Anspruchs Bezug nehmen.

Auswirkungen eines bereits gestellten Antrags auf internationale vorläufige Prüfung

Ist zum Zeitpunkt der Einreichung von Änderungen nach Artikel 19 bereits ein Antrag auf internationale vorläufige Prüfung gestellt worden, so sollte der Anmelder in seinem Interesse gleichzeitig mit der Einreichung der Änderungen beim Internationalen Büro auch eine Kopie der Änderungen bei der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde einreichen (siehe Regel 62.2 a), erster Satz).

Auswirkungen von Änderungen hinsichtlich der Übersetzung der internationalen Anmeldung beim Eintritt in die nationale Phase

Der Anmelder wird darauf hingewiesen, daß bei Eintritt in die nationale Phase möglicherweise anstatt oder zusätzlich zu der Übersetzung der Ansprüche in der eingereichten Fassung eine Übersetzung der nach Artikel 19 geänderten Ansprüche an die bestimmten/ausgewählten Ämter zu übermitteln ist.

Nähere Einzelheiten über die Erfordernisse jedes bestimmten/ausgewählten Amtes sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97P8046P	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen PCT/DE 98/ 00850	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 23/03/1998	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 30/04/1997

Anmelder

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 3 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nichtrecherchierbar erwiesen (siehe Feld I).
2. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).
3. ☐ In der internationalen Anmeldung ist ein Protokoll einer Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz offenbart; die internationale Recherche wurde auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt,
 - ☐ das zusammen mit der internationalen Anmeldung eingereicht wurde.
 - ☐ das vom Anmelder getrennt von der internationalen Anmeldung vorgelegt wurde,
 - ☐ dem jedoch keine Erklärung beigefügt war, daß der Inhalt des Protokolls nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung in der eingereichten Fassung hinausgeht.
 - ☐ das von der Internationalen Recherchenbehörde in die ordnungsgemäße Form übertragen wurde.
4. Hinsichtlich der **Bezeichnung der Erfindung**
 - ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
 - ☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt.
5. Hinsichtlich der **Zusammenfassung**
 - ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
 - ☐ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der Feld III angegebenen Fassung von dieser Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Internationalen Recherchenbehörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.
6. Folgende Abbildung der **Zeichnungen** ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen:
Abb. Nr. 1
 - ☒ wie vom Anmelder vorgeschlagen
 - ☐ weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.
 - ☐ weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

☐ keine der Abb.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 H03M13/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 H03M H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	YOU Y -L ET AL: "BLIND EQUALIZATION BY ALTERNATING MINIMIZATION FOR APPLICATIONS TO MOBILE COMMUNICATIONS" GLOBECOM '95. IEEE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE, SINGAPORE, NOV. 14 - 16, 1995, Bd. 1, 14. November 1995, Seiten 88-92, XP000621461 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS siehe Absatz 2 --- -/--	1,2, 10-14

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Oktober 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

19/10/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

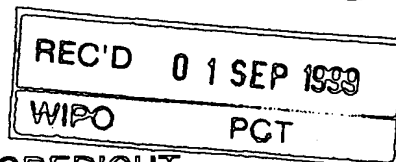
Augarde, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>RAMESH PYNDIAH ET AL: "NEAR OPTIMUM DECODING OF PRODUCT CODES" PROCEEDINGS OF THE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM), SAN FRANCISCO, NOV. 28 - DEC. 2, 1994, Bd. 1, 28. November 1994, Seiten 339-343, XP000488569 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS</p> <p>---</p>	1,10
A	<p>OFFER E: "SOFT-IN/SOFT-OUT DECODERS FOR LINEAR BLOCK CODES" CODIERUNG FÜR QUELLE, KANAL UND ÜBERTRAGUNG, VORTRAG DER ITG-FACHTAGUNG, MÜNCHEN, OCT. 26 -28, 1994, Nr. 130, 1. Januar 1994, Seiten 31-40, XP000503775 INFORMATIONSTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE (ITG) siehe Absatz 2 siehe Absatz 3.1 siehe Absatz 3.2</p> <p>-----</p>	1,10

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT



INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97P8046P	siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsberichts (Formblatt PCT/IPEA/416) WEITERES VORGEHEN	
Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/00850	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 23/03/1998	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 30/04/1997
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK H03M13/00		
Anmelder SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.		



- Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
- Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 6 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.

☒ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei: dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).

 Diese Anlagen umfassen insgesamt 4 Blätter.

- Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- I ☒ Grundlage des Berichts
- II ☐ Priorität
- III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderische Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit: Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
- VII ☒ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- VIII ☐ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags 02/11/1998	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 01.09.99
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. (+49-89) 2399-0 Tx: 523656 epmu d Fax: (+49-89) 2399-4465	Bevollmächtigter Bediensteter Farman, T Tel. Nr. (+49-89) 2399 2246 

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/00850

I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

Beschreibung, Seiten:

2-9,12-22,24-28 ursprüngliche Fassung

1,10,11,23 eingegangen am 14/07/1999 mit Schreiben vom 13/07/1999

Patentansprüche, Nr.:

1-19 ursprüngliche Fassung

Zeichnungen, Blätter:

1/2,2/2 ursprüngliche Fassung

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung, Seiten:
☐ Ansprüche, Nr.:
☐ Zeichnungen, Blatt:

3. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/00850

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	3, 4, 6-9, 11-13, 15, 16, 18, 19
	Nein: Ansprüche	1, 2, 5, 10, 14, 17
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	3, 4, 15, 16
	Nein: Ansprüche	1, 2, 5, 6-14, 17-19
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-19
	Nein: Ansprüche	

2. Unterlagen und Erklärungen

siehe Beiblatt

VII. Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung

Es wurde festgestellt, daß die internationale Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:

siehe Beiblatt

Allgemeines

Die folgenden Dokumente werden in diesem Prüfungsbericht herangezogen:

D1: Yu-Li You and M. Kaveh, "BLIND EQUALISATION BY ALTERNATING MINIMIZATION FOR APPLICATIONS TO MOBILECOMMUNICATIONS", Globecom '95, IEEE Global Telecommunications Conference, Singapore, Nov. 14-16 1995, Bd. 1, Seiten 88-92. (XP621461).

D2: IEEE Transactions on Communications, vol. 37, No.7, 07 July 1989, P. Chevillat & E. Eleftheriou, "Decoding of Trellis-Encoded Signals in the Presence of Intersymbol Interference and Noise". (XP38496).

Betr. Sektion V

Mangelnde Neuheit

Der Gegenstand von **Anspruch 1** ist nicht neu, weil Dokument D2 ein Verfahren zur gemeinsamen Viterbi-Dekodierung, -Entzerrung und Kanalschätzung mit allen Merkmalen von anspruch 1 offenbart. Das Verfahren aus D2 wird an der ersten Seite, rechte Spalte, dritter Absatz zusammengefaßt. Weiterhin zeigt die Figur 2 von D2, daß das zu ermittelnde Signal Redundanzinformation enthält, und die letzte Zeile der Seite 670 offenbart, daß Zuverlässigkeitsmaße als Dekodierungsergebnis ermittelt werden. Darüber hinaus wird in D2, Seite 673, Sektion "IV: An Adaptive Receiver", eine Weiterbildung der in den vorangehenden Sektionen beschriebenen Verfahren offenbart, bei dem ein Modell des Übertragungskanal optimiert wird (vgl. D2, Seite 673, Sektion IV, Absatz 1 und Figur 6 mit dazugehöriger Textpassage).

Die in **Anspruch 10** definierte Anordnung ist aus den mit Bezug auf Anspruch 1 bereits ausgeführten Gründen ebenfalls nicht neu.

Das Verfahren nach **Anspruch 2** und die Anordnung nach **Anspruch 14** sind nicht neu, weil bei D2 mehrere Bits (also mehrere Signalwerte) dekodiert werden.

Das Verfahren nach **Anspruch 5** und die Anordnung nach **Anspruch 17** sind

nicht neu, weil bei D2 eine Zielfunktion einer globalen Minimierung unterzogen wird (vgl. D1, Gleichung 26, und Text dazu).

Mangelnde erfinderische Tätigkeit

Das Verfahren nach **Anspruch 6** beruht nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil es naheliegend ist, je nach Bedarf aus dem gemäß D2 ermittelten Zuverlässigkeitsmaß (soft output) einen digitalen Wert (hard output) zu konstruieren. Es wird auch darauf hingewiesen, daß ein Zuverlässigkeitsmaß üblicherweise als positive Zahl dargestellt wird. Eine binäre N-Bit Zahl kann jedoch grundsätzlich als vorzeichenbehaftete Zahl interpretiert werden, bei der das erste Bit eine Vorzeicheninformation darstellt, und die weiteren Bits eine Betragsinformation darstellen.

Das Verfahren nach **Anspruch 7** beruht nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil es naheliegend wäre, bei dem Verfahren aus D2 die sog. "tail-biting" technik zu verwenden, die bekanntlicherweise ermöglicht, bei Bedarf einen Faltungscode als Blockcode zu gestalten.

Die Verfahren nach den **Ansprüchen 8 und 9** beruhen nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil sie lediglich die zwei üblichen Anwendungsgebiete von Fehlerkorrektur und Entzerrung definieren. Dasselbe gilt für korrespondierende **Vorrichtungsansprüche 18 und 19**.

Die Anordnungen nach den **Ansprüchen 11 bis 13** beruhen nicht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil sie lediglich übliche Merkmale von Empfangseinrichtungen definieren.

Neuheit und erfinderische Tätigkeit

Der Gegenstand der **Ansprüche 3, 4, 15 und 16** ist neu und beruht auf einer erfinderischen Tätigkeit, weil die Verwendung eines nichtlinearen Regressionsmodells in das aus D2 bekannte Verfahren von den verfügbaren Dokumenten weder bekannt noch nahegelegt wird.

Es wird darauf hingewiesen, daß die aus Dokument D1 zu entnehmende Lehre den Fachmann nicht ohne erfinderisches Zutun zum Gegenstand der Ansprüche 1 bis 19 führen würde. D1 betrifft ein Verfahren zur gemeinsam Viterbi-Entzerrung und Kanalschätzung, bei dem das zu ermittelnde Signal keine Redundanzinformation enthält. In Gegensatz dazu definiert Anspruch 1 ein Verfahren zur gemeinsamen Viterbi-Dekodierung und Kanalschätzung, bei dem das zu ermittelnde Signal Redundanzinformation enthält.

Betr. Sektion VII

Dokument D2 wäre in der Beschreibungseinleitung zu würdigen (Regel 5.1 (a) (ii) PCT)

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal

5

Ziel der von Claude Shannon 1948 begründeten Informationstheorie ist es, leistungsfähige Codes zur Codierung, Übertragung und Decodierung digitaler Daten zu entwickeln und bei der Decodierung die verfügbaren Informationen der codierten Daten möglichst optimal auszunutzen.

Aus [5] ist eine Identifikation eines Übertragungskanals zur Übertragung digitaler Daten bekannt.

- 15 Bei der Decodierung digitaler Daten wird zwischen zwei Arten der Decodierung unterschieden:
- Bei der sog. Hard-Decision-Decodierung wird ein empfangenes, durch die Übertragung über einen Kanal verrauschtes Signal in eine Folge digitaler Daten decodiert, wobei lediglich der digitale Wert des jeweils empfangenen Signals klassifiziert wird;
 - bei der sog. Soft-Decision-Decodierung wird für jedes zu decodierende Informationszeichen zusätzlich eine A posteriori-Wahrscheinlichkeit für den zu klassifizierenden Wert ermittelt. Solche A posteriori-Wahrscheinlichkeiten werden auch als Soft-Outputs bezeichnet und bilden ein Maß für die Zuverlässigkeit der Decodierung.

Im weiteren wird die Soft-Decision-Decodierung betrachtet.
30 Grundlagen über sog. Block-Codes sind aus [2] bekannt.

Aus [3] ist es bekannt, für einen binären linearen Blockcode eine Soft-Decision-Decodierung durchzuführen.

- 35 Im weiteren wird das Verfahren aus [3] zur exakten Berechnung digitaler Signalwerte aus einem elektrischen Signal unter Verwendung der sog. Log-Likelihood-Algebra erläutert.

GEÄNDERTES BLATT

Die Anordnung gemäß Patentanspruch 10 enthält eine Recheneinheit, die derart eingerichtet ist, daß aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwertes approximiert wird und daß abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß der Signalwert ermittelt wird.

Ferner erfolgt bei dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 und bei der Anordnung gemäß Patentanspruch 10 jeweils die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart, daß eine Zielfunktion optimiert wird, wobei die Zielfunktion ein Modell eines Übertragungskanals, über den das elektrische Signal übertragen wurde, enthält.

Durch die Approximation des bisher exakt zu ermittelnden Zuverlässigkeitsmaßes, von dem abhängig der Signalwert ermittelt wird, wird eine erhebliche Vereinfachung bei der Ermittlung des digitalen Signalwertes erreicht. Dies führt zu einer erheblich schnelleren Durchführbarkeit des Verfahrens durch einen Rechner bzw. zur erheblichen Einsparung an Kosten für die Realisierung der Anordnung zur Ermittlung des digitalen Signalwerts. Damit wird häufig erst eine numerische Lösung der Soft-Decision-Decodierung überhaupt möglich.

Anschaulich ist die Erfindung darin zu sehen, daß das bisher lediglich exakt berechenbare Zuverlässigkeitsmaß approximiert wird.

Durch die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes durch die Optimierung der Zielfunktion ist eine sehr einfache und somit schnell durchführbare Möglichkeit angegeben, die sogar die Eigenschaften des Übertragungskanals und somit die Störeigenschaften des gestörten Signals berücksichtigt.

Die Minimierung der Zielfunktion, die als Approximationskriterium die Eigenschaften des Kanals in Form des Modells enthält, führt dazu, daß die Effizienz des Verfahrens bzw. der

GEÄNDERTES BLATT

Anordnung erheblich verbessert wird. Durch diese Weiterbildung wird eine gegenüber bekannten Verfahren bei gleicher Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei der Ermittlung der digitalen Signalwerte eine erhebliche Reduktion des Signal-/Rausch-

5 Verhältnisses $\frac{N_0}{E_b}$ erreicht. Die Verbesserung des Signal-/Rauschverhältnisses beträgt je nach verwendeter Kanalcodierung bis annähernd 3 dB, was der theoretisch maximal erreichbaren Verbesserung entspräche.

- 10 Schon eine Einsparung von 1 dB kann beispielsweise bei der Funkübertragung von Raumsonden zu einer Kostenersparnis von etwa 75 Mio US-\$ bei dem Bau der Raumsonde führen. Somit wird auch für den Sender erhebliche Kosteneinsparung möglich, wenn die Decodierung nach dieser Weiterbildung erfolgt, bzw. die
- 15 Anordnung gemäß der Weiterbildung derart eingerichtet ist, daß die Approximation durch Optimierung einer Zielfunktion, die ein Modell des Übertragungskanals enthält, erfolgt, erreicht wird.
- 20 Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Ferner ist es in einer Weiterbildung sowohl des Verfahrens als auch der Anordnung vorteilhaft, daß die Zielfunktion nach

25 folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) - \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i \right)^2$$

- Hierbei ist eine veränderte Skalierung oder eine leichte Abänderung und Vernachlässigung einiger Werte in der Zielfunktion sowie der Grad der Zählerfunktion (Grad der Zielfunktion)
- 30 on) nicht wesentlich und kann beliebig verändert werden.

Durch diese Zielfunktion ist ein Modell angegeben für den Übertragungskanal, in dem die angenommenen Modelleigenschaften

GEÄNDERTES BLATT

Im Rahmen dieses Dokumentes wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

-
- 5 [1] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5 S. 1-30, 1996
- 10 [2] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, Se. 69-125, S. 193-242, 1996
- 15 [3] J. Hagenauer et al, Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes, IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 42, 1996
- 20 [4] S. Schäffler, Unconstrained Global Optimization Using Stochastic Integral Equations, Optimization, Vol. 35, S. 43-60, 1995
- 25 [5] Yu-Li You and M. Kaveh, "Blind Equalisation by Alternating Minimization for Applications to Mobilecommunications", Globecom '95, IEEE Global Telecommunications Conference, Singapore, Nov. 14-16 1995, Bd. 1. Seiten 88-92, XP621461

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

09/423066

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97P8046P	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5
Internationales Aktenzeichen PCT/DE 98/ 00850	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 23/03/1998
(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 30/04/1997	
Anmelder SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.	

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 3 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

- ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nichtrecherchierbar erwiesen (siehe Feld I).
- ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).
- ☐ In der internationalen Anmeldung ist ein Protokoll einer Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz offenbart; die internationale Recherche wurde auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt,
 - ☐ das zusammen mit der internationalen Anmeldung eingereicht wurde.
 - ☐ das vom Anmelder getrennt von der internationalen Anmeldung vorgelegt wurde,
 - ☐ dem jedoch keine Erklärung beigelegt war, daß der Inhalt des Protokolls nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung in der eingereichten Fassung hinausgeht.
 - ☐ das von der Internationalen Recherchenbehörde in die ordnungsgemäße Form übertragen wurde.
- Hinsichtlich der **Bezeichnung der Erfindung**
 - ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
 - ☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt.
- Hinsichtlich der **Zusammenfassung**
 - ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
 - ☐ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der Feld III angegebenen Fassung von dieser Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Internationalen Recherchenbehörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.
- Folgende Abbildung der **Zeichnungen** ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen:

Abb. Nr. <u>1</u>	<input checked="" type="checkbox"/> wie vom Anmelder vorgeschlagen	<input type="checkbox"/> keine der Abb.
	<input type="checkbox"/> weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.	
	<input type="checkbox"/> weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H03M13/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H03M H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>YOU Y -L ET AL: "BLIND EQUALIZATION BY ALTERNATING MINIMIZATION FOR APPLICATIONS TO MOBILE COMMUNICATIONS"</p> <p>GLOBECOM '95. IEEE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE, SINGAPORE, NOV. 14 - 16, 1995,</p> <p>Bd. 1, 14. November 1995, Seiten 88-92, XP000621461</p> <p>INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS</p> <p>siehe Absatz 2</p> <p style="text-align: center;">--- -/--</p>	1,2, 10-14



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Oktober 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/10/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2

NL - 2280 HV Rijswijk

Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,

Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Augarde, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	RAMESH PYNDIAH ET AL: "NEAR OPTIMUM DECODING OF PRODUCT CODES" PROCEEDINGS OF THE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM), SAN FRANCISCO, NOV. 28 - DEC. 2, 1994, Bd. 1, 28. November 1994, Seiten 339-343, XP000488569 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS ---	1,10
A	OFFER E: "SOFT-IN/SOFT-OUT DECODERS FOR LINEAR BLOCK CODES" CODIERUNG FÜR QUELLE, KANAL UND ÜBERTRAGUNG, VORTRAG DER ITG-FACHTAGUNG, MÜNCHEN, OCT. 26 -28, 1994, Nr. 130, 1. Januar 1994, Seiten 31-40, XP000503775 INFORMATIONSTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE (ITG) siehe Absatz 2 siehe Absatz 3.1 siehe Absatz 3.2 -----	1,10

Translation

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference GR 97P8046P	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/DE98/00850	International filing date (<i>day/month/year</i>) 23 March 1998 (23.03.1998)	Priority date (<i>day/month/year</i>) 30 April 1997 (30.04.1997)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC H03M 13/00		
Applicant SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 6 sheets, including this cover sheet.

☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 4 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☒ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 02 November 1998 (02.11.1998)	Date of completion of this report 01 September 1999 (01.09.1999)
Name and mailing address of the IPEA/EP European Patent Office D-80298 Munich, Germany Facsimile No. 49-89-2399-4465	Authorized officer Telephone No. 49-89-2399-0

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/DE98/00850

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

- ☐ the international application as originally filed.
- ☒ the description, pages 2-9, 12-22, 24-28, as originally filed,
pages _____, filed with the demand,
pages 1, 10, 11, 23, filed with the letter of 13 July 1999 (13.07.1999),
pages _____, filed with the letter of _____.
- ☒ the claims, Nos. 1-19, as originally filed,
Nos. _____, as amended under Article 19,
Nos. _____, filed with the demand,
Nos. _____, filed with the letter of _____,
Nos. _____, filed with the letter of _____.
- ☒ the drawings, sheets/fig 1/2, 2/2, as originally filed,
sheets/fig _____, filed with the demand,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/fig _____

3. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	3, 4, 6-9, 11-13, 15, 16, 18, 19	YES
	Claims	1, 2, 5, 10, 14, 17	NO
Inventive step (IS)	Claims	3, 4, 15, 16	YES
	Claims	1, 2, 5, 6-14, 17-19	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-19	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

This report makes reference to the following documents:

D1: Yu-Li You and M. Kaveh, "BLIND EQUALISATION BY ALTERNATING MINIMIZATION FOR APPLICATIONS TO MOBILE COMMUNICATIONS", Globecom '95, IEEE Global Telecommunications Conference, Singapore, Nov. 14-16 1995, Vol. 1, pages 88-92 (XP621461)

D2: IEEE Transactions on Communications, Vol. 37, No. 7, 7 July 1989, P. Chevillat & E. Eleftheriou, "Decoding of Trellis-Encoded Signals in the Presence of Intersymbol Interference and Noise" (XP38496).

Lack of novelty

The subject matter of **Claim 1** is not novel because document D2 discloses a simultaneous Viterbi decoding, equalisation and channel evaluation process having all the features of Claim 1. The process of D2 is summarised in the first page, right-hand column, paragraph 3. Moreover, Figure 2 of D2 shows that the signal being sensed contains redundance information, and the last line of page 670

discloses that reliability measures are determined as the result of decoding. Furthermore, D2, page 673, section IV, "An Adaptive Receiver", discloses a development of the process described in the previous section in which a model of the transmission channel is optimised (cf. D2, page 673, section IV, paragraph 1 and Figure 6 with associated text passage).

The arrangement defined in **Claim 10** is not novel either, for the reasons already explained regarding Claim 1.

The process as per **Claim 2** and the arrangement as per Claim 14 are not novel because in D2 several bits (and thus several signal values) are decoded.

The process as per **Claim 5** and the arrangement as per **Claim 17** are not novel because in D2 a target function undergoes global minimisation (cf. D1, equation 26 and associated text).

Lack of inventive step

The process as per **Claim 6** does not involve an inventive step because it is obvious, whenever necessary, to form a digital value (hard output) from the reliability measure (soft output) determined according to D2. It is also pointed out that a reliability measure is normally represented as a positive number. A binary N-bit number, however, can fundamentally be interpreted as a signed number in which the first bit represents sign information and the other bits represent amount information.

The process as per **Claim 7** does not involve an inventive step because it would be obvious to apply the so-called

"tail-biting" technique to the process of D2, as it is generally known that this technique allows designing a folding code as a block code whenever required.

The processes as per **Claims 8 and 9** do not involve an inventive step because they merely define the two common fields of application of error correction and equalisation. The same applies to the corresponding device **Claims 18 and 19**.

The arrangements as per **Claims 11-13** do not involve an inventive step because they merely define common features of receivers.

Novelty and inventive step

The subject matter of **Claims 3, 4, 15 and 16** is novel and involves an inventive step because the use of a non-linear regression model in the process known from D2 is neither known from nor suggested by the available documents.

It is pointed out that the teaching found in document D1 would not lead a person skilled in the art to the subject matter of Claims 1-19 without an inventive input. D1 discloses a simultaneous Viterbi equalisation and channel evaluation process in which the signal being sensed does not contain redundancy information. In contrast, Claim 1 defines a common Viterbi decoding and channel evaluation process in which the signal being sensed contains redundancy information.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/DE 98/00850

VII. Certain defects in the international application

The following defects in the form or contents of the international application have been noted:

Document D2 should be acknowledged in the introductory part of the description (PCT Rule 5.1(a)(ii)).

Siemens AG
New PCT application
Our Case P-99,2243
GR 97 P 8046 P US
Inventor: Schaeffler
Re: Substitute Pages

Translation / October 26, 1999 / 911 / 980 words

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H03M 13/00		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/49778
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 5. November 1998 (05.11.98)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/00850			(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 23. März 1998 (23.03.98)			
(30) Prioritätsdaten: 197 18 424.3 30. April 1997 (30.04.97) DE			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHÄFFLER, Stefan [DE/DE]; Paul-Lincke-Strasse 15, D-86199 Augsburg (DE).			

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING AT LEAST ONE DIGITAL SIGNAL VALUE FROM AN ELECTRIC SIGNAL

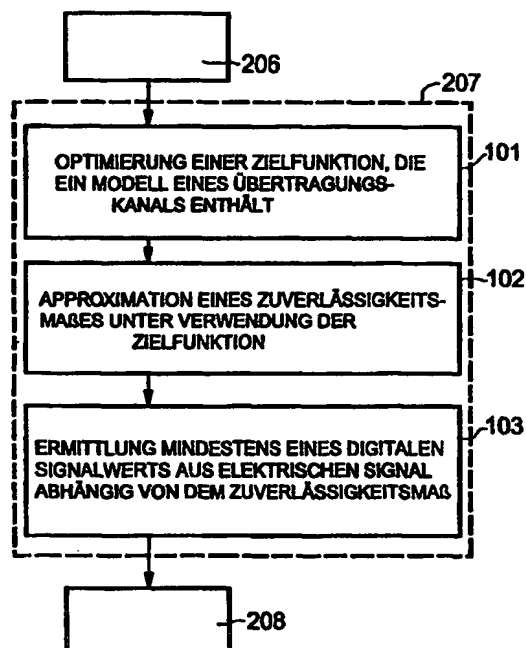
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERMITTLUNG MINDESTENS EINES DIGITALEN SIGNALWERTS
AUS EINEM ELEKTRISCHEN SIGNAL

(57) Abstract

In accordance with the invention, the electric signal contains signal information and information which is redundant in respect of the signal information, determined from the signal information. A reliability measure is approximated on the basis of the electric signal in order to form at least one signal value which is determined in accordance with the reliability measure. To this end, a target function containing a model of a transmission canal is optimized (step 101) and the approximation takes place by means of the target function (step 102).

(57) Zusammenfassung

Das elektrische Signal enthält Signalinformation und aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation. Aus dem elektrischen Signal wird ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung mindestens eines Signalwertes approximiert und abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß wird der Signalwert ermittelt. Dies erfolgt dadurch, daß eine Zielfunktion, die ein Modell eines Übertragungskanals enthält, optimiert wird (Schritt 101) und die Approximation unter Verwendung der Zielfunktion (Schritt 102) erfolgt.



- 101...OPTIMIZATION OF A TARGET FUNCTION CONTAINING A MODEL OF A TRANSMISSION CHANNEL
102...APPROXIMATION OF A RELIABILITY MEASURE BY MEANS OF THE TARGET FUNCTION
103...DETERMINATION OF AT LEAST ONE DIGITAL SIGNAL VALUE FROM THE ELECTRIC SIGNAL IN ACCORDANCE WITH THE RELIABILITY MEASURE

Replaced by 11/13/34

2/PRTS

1

09/423066
420 Rec'd PCT/PTO 31 NOV 1999

SPECIFICATION

METHOD AND ARRANGEMENT FOR DETERMINING AT LEAST ONE DIGITAL SIGNAL VALUE FROM AN ELECTRICAL SIGNAL

5 The goal of the information theory established by Claude Shannon
in 1948 is to develop efficient codes for encoding transmission and
decoding of digital data and to optimally utilize the available information of
the encoded data in the decoding insofar as possible.

Two types of decoding are distinguished in the decoding of digital
data:

- 10 - in what is referred to as hard decision decoding, a received signal
infested with noise by the transmission over a channel is decoded into a
sequence of digital data, whereby only the digital value of the respectively
received signal is classified;
- 15 - in what is referred to as soft decision decoding, an A posteriori
probability for the value to be classified is additionally determined for each
information character to be decoded. Such a posteriori probabilities are
also referred to as soft outputs and form a criterion for the dependability of
the decoding.

Soft decision decoding shall be considered below.

20 Fundamentals of what are referred to as block codes are known
from [2].

It is known from [3] to implement a soft decision decoding for a
binary, linear block code.

25 The method from [3] for exact calculation of digital signal values
from an electrical signal shall be explained below upon employment of
what is referred to as log-likelihood algebra.

It is assumed below that the output of a source encoder of a first
arrangement is composed of a sequence of digital, preferably binary
signal words that are referred to below as code words. The finite plurality
30 of stochastically independent random variables.

information, whereby a simplified determination compared to the known method is possible.

The problem is solved by the method according to patent claim 1 as well as by the arrangement according to patent claim 10.

5 Given the method according to patent claim 1, a dependability measure for forming the signal value is approximated from the electrical signal and the signal value is determined dependent on the dependability degree.

10 The arrangement according to patent claim 10 contains a computer unit that is configured such that a dependability degree for forming the signal value is approximated from the electrical signal and such that the signal value is determined dependent on the dependability degree.

15 Due to the approximation of the dependability degree that had to be exactly determined hitherto and dependent whereon the signal value is determined, a considerable simplification is achieved in the determination of the digital signal value. This leads to a substantially faster implementation of the method by a computer or, respectively, to considerable saving of costs for the realization of the arrangement for determining the digital signal value. A numerical solution of the soft
20 decision decoding thus often becomes possible at all for the first time.

 The invention can be clearly seen therein that the dependability degree that was hitherto only exactly calculated is approximated.

 Advantageous developments of the invention derive from the dependent claims.

25 In one development of the method, it is advantageous that the approximation of the dependability degree ensues such that a target function is optimized, whereby the target function contains a model of a transmission channel over which the electrical signal was transmitted.

30 Due to this development, an extremely simple and, thus, quickly implemented possibility is recited that even takes the properties of the transmission channel and, thus, the noise properties of the disturbed signal into consideration.

The minimization of the target function that contains the properties of the channel in the form of the model as approximation criterion leads thereto that the efficiency of the method or, respectively, of the arrangement is substantially improved. As a result of this development, a considerable reduction of the signal-to-noise ratio $\frac{N_0}{E_b}$ is achieved

compared to known methods given the same bit error probability in the determination of the digital signal values. The improvement of the signal-to-noise ratio amounts to up to approximately 3 dB dependent on the channel encoding employed, which would correspond to the maximum improvement that could be theoretically achieved.

A saving of 1 dB, for example, can already lead to a cost saving of approximately 70 million U. S. dollars in the construction of the space probe given radio transmission from space probes. Considerable cost saving is thus possible for the center as well when the decoding ensues according to this development or, respectively, the arrangement according to the development is configured such that the approximation ensues by optimizing a target function that contains a model of the transmission channel.

In a development both of the method as well as of the arrangement, further, it is advantageous that the target function is formed according to the following rule:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2.$$

A modified scaling or a slight modification and neglecting of some values in the target function as well as the degree of the counter function

The following publications were cited in the course of this document.

- [1] B. Friedrichs, Kanalcodierung Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, pp.1-30, 1996

- 5 [2] B. Friedrichs, Kanalcodierung Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, pp. 69-125, pp. 193-242, 1996

- [3] J. Hagenauer et al, Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes, IEEE Trans. On Information Theory, Vol. 42, 10 1996

- [4] S. Schäffler, Unconstrained Global Optimization Using Stochastic Integral Equations, Optimization, Vol. 35, pp. 43-60, 1995

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal

5

Ziel der von Claude Shannon 1948 begründeten Informationstheorie ist es, leistungsfähige Codes zur Codierung, Übertragung und Decodierung digitaler Daten zu entwickeln und bei der Decodierung die verfügbaren Informationen der codierten Daten möglichst optimal auszunutzen.

10

Bei der Decodierung digitaler Daten wird zwischen zwei Arten der Decodierung unterschieden:

15

- Bei der sog. Hard-Decision-Decodierung wird ein empfangenes, durch die Übertragung über einen Kanal verrauschtes Signal in eine Folge digitaler Daten decodiert, wobei lediglich der digitale Wert des jeweils empfangenen Signals klassifiziert wird;

20

- bei der sog. Soft-Decision-Decodierung wird für jedes zu decodierende Informationszeichen zusätzlich eine A posteriori-Wahrscheinlichkeit für den zu klassifizierenden Wert ermittelt. Solche A posteriori-Wahrscheinlichkeiten werden auch als Soft-Outputs bezeichnet und bilden ein Maß für die Zuverlässigkeit der Decodierung.

25

Im weiteren wird die Soft-Decision-Decodierung betrachtet.

Grundlagen über sog. Block-Codes sind aus [2] bekannt.

30

Aus [3] ist es bekannt, für einen binären linearen Blockcode eine Soft-Decision-Decodierung durchzuführen.

Im weiteren wird das Verfahren aus [3] zur exakten Berechnung digitaler Signalwerte aus einem elektrischen Signal unter

35

Verwendung der sog. Log-Likelihood-Algebra erläutert.

Im weiteren wird angenommen, daß die Ausgabe eines Quellencodierers einer ersten Anordnung aus einer Folge digitaler, vorzugsweise binärer Signalworte, die im weiteren als Codewörter bezeichnet werden, besteht. Es werden endlich viele,
 5 stochastisch unabhängige Zufallsvariablen

$$U_i: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}, \quad i = 1, \dots, m \quad m \in \mathbb{N} \quad (1)$$

betrachtet, die auf einem Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, S, P) definiert sind. Mit S wird eine σ -Algebra bezeichnet, d.h. die Menge der Ereignisse, für die eine Wahrscheinlichkeit definiert ist. Mit P wird ein Wahrscheinlichkeitsmaß bezeichnet ($P: S \rightarrow [0, 1]$). Unter der Voraussetzung, daß die Ungleichungen
 15

$$0 < P(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = -1\}) < 1, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

erfüllt sind, werden sog. L-Werte der Zufallsvariablen U_i durch
 20

$$L(U_i) := \ln \left(\frac{P(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = +1\})}{P(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = -1\})} \right), \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

definiert.

25 Codeworte \underline{u} haben folgenden Aufbau:

$$\underline{u} \in \{\pm 1\}^k.$$

Dabei ist für jedes Codewort \underline{u} vorausgesetzt, daß jeder digitaler Wert u_i , $i=1 \dots k$ des Codeworts \underline{u} , mit gleicher Wahrscheinlichkeit einen ersten Wert (logisch „0“ oder logisch „+1“) oder einen zweiten Wert (logisch „1“ oder logisch „-1“) annimmt. Da bei der Übertragung von Nachrichten mit Störungen zu rechnen ist, die die Nachrichten verfälschen
 30

können, wird ein weiterer Codierungsschritt, die Kanalcodierung, durchgeführt.

Bei der Kanalcodierung wird, wie in [1] beschrieben, den eingehenden Codewörtern \underline{u} gezielt Redundanz hinzugefügt, um mögliche Übertragungsfehler korrigieren zu können und somit eine hohe Übertragungszuverlässigkeit zu sichern. Im folgenden wird davon ausgegangen, daß bei der Kanalcodierung jedem Codewort $\underline{u} \in \{\pm 1\}^k$ ein Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$, $n > k$, $n \in \mathbb{N}$, zugeordnet wird. Die Ausgabe der Einrichtung zur Kanalcodierung besteht somit aus Codewörtern der Form $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$.

Die Kanalcodewörter werden über einen physikalischen Kanal, beispielsweise eine Teilnehmeranschlußleitung, Koaxialkabel, Mobilfunk, Richtfunk, etc., von einer Sendeeinrichtung zu einer Empfangseinrichtung übertragen.

Da der physikalische Kanal oftmals keine diskreten Symbole, sondern nur zeitkontinuierliche Signale (also spezielle Funktionen $s: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$) übertragen kann, ist oftmals ein Modulator vorgesehen, durch den dem Kanalcodewort \underline{c} eine für die Übertragung über den physikalischen Kanal geeignete Funktion zugeordnet wird. Eine wichtige Kenngröße des gesendeten elektrischen Signals ist die mittlere Energie E_b , die für die Übertragung eines Informationsbits des Kanalcodeworts \underline{c} verwendet wird.

Da bei der Übertragung eines elektrischen Signals über einen physikalischen Kanal eine Störung auftreten kann, wird im allgemeinen ein elektrisches Signal $\tilde{s}: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, welches gegenüber dem gesendeten elektrischen Signal verändert ist, empfangen.

Die Störung wird mit Methoden der stochastischen Signaltheorie beschrieben. Eine Kenngröße der Störung ist die bekannte einseitige Rauschleistungsdichte N_0 , die bestimmt ist durch den Kanal. Nach einer eventuellen Demodulation des empfangen-

nen elektrischen Signals \tilde{s} liegt anstelle des Codeworts \underline{c} ein Vektor $\underline{y} \in \mathbb{R}^n$ vor. Der Absolutbetrag jeder Komponente des Vektors \underline{y} wird dabei als Zuverlässigkeitsinformation für das entsprechende Vorzeichen der Komponente im Rahmen der
 5 Soft-Decision-Decodierung interpretiert.

Die Kanaldecodierung hat nun die Aufgabe, unter Verwendung des empfangenen, eventuell demodulierten elektrischen Signals \tilde{s} , welches schließlich als Vektor \underline{y} zur Verfügung steht, das
 10 Codewort \underline{u} , welches ursprünglich vorlag, zu rekonstruieren.

Es ist üblich, den physikalischen Kanal und dessen Störeigenschaften zu modellieren. Ein dazu häufig verwendetes Modell ist der sog. invariante AWGN-Kanal (Additive Gaussian White
 15 Noise). Im weiteren wird, wenn ein Modulator und ein Demodulator vorhanden sind, in diesem Modell die Gesamtheit von Modulator, physikalischem Kanal und Demodulator als Kanal bezeichnet. Bei dem AWGN-Kanal wird davon ausgegangen, daß die Ausgabe des Kanalcodierers, d.h. das Kanalcodewort \underline{c} durch
 20 eine $N\left(0, \frac{N_0 n}{2E_b k}, I_n\right)$ -normal verteilte Zufallsvariable additiv überlagert wird, wobei mit I_n die n-dimensionale Einheitsmatrix bezeichnet wird. Der Quotient $\frac{N_0}{E_b}$ ist bekannt und wird auch als Signal-/Rausch-Verhältnis bezeichnet.

25 Durch vollständige Induktion nach m läßt sich aufgrund der stochastischen Unabhängigkeit der Zufallsvariablen U_1, \dots, U_m zeigen, daß für den L-Wert der verketteten Zufallsvariablen $U_1 \oplus \dots \oplus U_m$ gilt (mit \oplus wird eine Exklusiv-Oder-Verknüpfung bezeichnet):

$$30 \quad U_1 \oplus U_2 \oplus \dots \oplus U_m: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}, \omega \rightarrow U_1(\omega) \oplus U_2(\omega) \oplus \dots \oplus U_m(\omega) \quad (4)$$

und

$$L(U_1 \oplus U_2 \oplus \dots \oplus U_m) = \ln \frac{1 + \prod_{i=1}^m \frac{\exp(L(U_i)) - 1}{\exp(L(U_i)) + 1}}{1 - \prod_{i=1}^m \frac{\exp(L(U_i)) - 1}{\exp(L(U_i)) + 1}} \quad (5).$$

- Für das aus [3] bekannte Verfahren ergibt sich folgende Ausgangssituation: Gegeben sind natürliche Zahlen k , n und Mengen $J_{k+1}, \dots, J_n \subseteq \{1, \dots, k\}$, die die Eigenschaften des Kanalcodierers beschreiben, sowie die nichtnegative reelle Zahl $\frac{N_0}{E_b}$. Mit k wird die Anzahl digitaler Werte des Codewortes \underline{u} bezeichnet. Mit n wird die Anzahl der digitalen Werte des Kanalcodewortes $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$, mit $n > k$, bezeichnet. Die $n-k$ digitalen Werte, die dem Codewort \underline{u} bei der Bildung des Kanalcodewortes \underline{c} hinzugefügt werden, die auch als Prüfbits bezeichnet werden, werden durch $J_{k+1}, \dots, J_n \subseteq \{1, \dots, k\}$ charakterisiert.
- Ferner ist ein Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, S, P) und eine n -dimensionale Zufallsvariable C

$$\underline{C}: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}^n \quad (6)$$

- mit folgenden Eigenschaften gegeben:
- Komponenten

$$C_1, \dots, C_k: \Omega \rightarrow \{\pm 1\} \quad (7)$$

- der n -dimensionalen Zufallsvariable \underline{C} sind stochastisch unabhängig und es gilt für alle $i=1, \dots, k$:

$$P(\{\omega \in \Omega; C_i(\omega) = -1\}) = P(\{\omega \in \Omega; C_i(\omega) = +1\}) = \frac{1}{2} \quad (8).$$

- Für jedes $i \in \{k+1, \dots, n\}$ und für alle $\omega \in \Omega$ gilt:

6

$$C_i(\omega) = \bigoplus_{j \in J_i} C_j(\omega) \quad (9).$$

Die digitalen Werte, die durch die Kanalcodierung gebildet werden, d.h. die Kanalcodeworte \underline{c} werden als Realisierung der Zufallsvariablen \underline{C} interpretiert.

Die zu rekonstruierende Ausgabe \tilde{u} des Kanaldecodierers, die im weiteren als Menge digitaler Signalwerte bezeichnet wird, sind die entsprechende Realisierung der Zufallsvariablen

$$U: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}^k, \omega \mapsto (C_1(\omega), \dots, C_k(\omega))^T \quad (10).$$

Die Ausgabe

$$\underline{y} \in \mathbb{R}^n \quad (11).$$

der Einheit zur Demodulation bzw. der Vektor, der das elektrische Signal beschreibt und für den die Decodierung erfolgt, wird als Realisierung der Zufallsvariablen

$$\underline{Y}: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n, \omega \mapsto \underline{C}(\omega) + \underline{Z}(\omega) \quad (12)$$

interpretiert, wobei $\underline{Z}: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ eine $N\left(0, \frac{N_0 n}{2E_{bk}}, I_n\right)$ -normal verteilte Zufallsvariable ist, die stochastisch unabhängig von der n-dimensionalen Zufallsvariable \underline{C} ist. Basierend auf dem das empfangene elektrische Signal beschreibenden Vektors \underline{y} wird das Codewort \tilde{u} rekonstruiert.

Um die einzelnen digitalen Signalwerte zu rekonstruieren, wird die Verteilung der Zufallsvariablen \underline{C} unter der Bedingung untersucht, daß der das elektrische Signal beschreibende Vektor \underline{y} empfangen wurde.

Die durch diese Verteilung induzierten Wahrscheinlichkeiten werden als A posteriori-Wahrscheinlichkeiten bezeichnet.

Es werden für jedes $\varepsilon > 0$ die folgenden Größen betrachtet:

$$\begin{aligned}
 L_{\varepsilon}(U_i|\underline{y}) &:= \ln \frac{P\left(\left\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = +1\right\} \middle| \left\{\omega \in \Omega; \underline{y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\right\}\right)}{P\left(\left\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = -1\right\} \middle| \left\{\omega \in \Omega; \underline{y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\right\}\right)} = \\
 &= \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} P\left(\left\{\omega \in \Omega; \underline{c}(\omega) = \underline{v}\right\} \middle| \left\{\omega \in \Omega; \underline{y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\right\}\right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} P\left(\left\{\omega \in \Omega; \underline{c}(\omega) = \underline{v}\right\} \middle| \left\{\omega \in \Omega; \underline{y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\right\}\right)}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Für $i = 1, \dots, k$, wobei

$$M_{\underline{y}, \varepsilon} := [y_1, y_1 + \varepsilon] \times \dots \times [y_n, y_n + \varepsilon] \tag{14}$$

und C die Menge aller Kanalcodewörter \underline{c} bezeichnet.

Durch Verwendung des Satzes von Bayes ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 L_{\varepsilon}(U_i|\underline{y}) &:= \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} P\left(\left\{\omega \in \Omega; \underline{y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\right\} \middle| \left\{\omega \in \Omega; \underline{c}(\omega) = \underline{v}\right\}\right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} P\left(\left\{\omega \in \Omega; \underline{y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\right\} \middle| \left\{\omega \in \Omega; \underline{c}(\omega) = \underline{v}\right\}\right)} \\
 &= \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \int_{M_{\underline{y}, \varepsilon}} \exp\left(-\frac{(\underline{x} - \underline{v})^T (\underline{x} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}}\right) d\mathbf{x}}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \int_{M_{\underline{y}, \varepsilon}} \exp\left(-\frac{(\underline{x} - \underline{v})^T (\underline{x} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}}\right) d\mathbf{x}}
 \end{aligned}$$

(15).

Betrachtet man durch mehrfache Verwendung der Regel von De L'Hospital den Grenzübergang von (14) für $\varepsilon \rightarrow 0$, so erhält man für jedes Zeichen die Soft-Outputs $L(U_i|\underline{y})$ nach folgender Vorschrift:

$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_{bk}}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_{bk}}} \right)} \quad (16).$$

10

Die Soft-Outputs, die zum einen üblicherweise eine Vorzeicheninformation und eine Zuverlässigkeitsinformation (Absolutbetrag des Soft-Outputs) enthalten, werden im weiteren als Zuverlässigkeitsmaß bezeichnet.

15

Völlig analog erhält man für $i = k + 1, \dots, n$:

$$L \left(\bigoplus_{j \in J_i} U_j | \underline{y} \right) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_{bk}}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_{bk}}} \right)} \quad (17).$$

20

Die Decodierung bei dem bekannten Verfahren erfolgt derart, daß für den Fall, daß das Zuverlässigkeitsmaß einen Wert größer 0 aufweist, die i-te Komponente u_i des zu rekonstruierenden Codewortes \tilde{u} mit dem zweiten Wert (logisch „1“ oder lo-

gisch „-1“) rekonstruiert wird. Für einen Wert des Zuverlässigkeitsmaßes kleiner 0 wird dem digitalen Signalwert der erste Wert (logisch „0“ oder logisch „+1“) zugeordnet. Für den Wert des Zuverlässigkeitsmaßes gleich 0 kann man sich willkürlich für den ersten oder den zweiten Wert entscheiden. Der Absolutbetrag des Zuverlässigkeitsmaßes ist ein Maß für die Zuverlässigkeit der obigen Entscheidungsregeln. Je größer der Absolutbetrag ist, desto zuverlässiger ist die Rekonstruktion.

10

Nachteilig an diesem bekannten Verfahren ist der Aufwand zur rechnergestützten Ermittlung des Zuverlässigkeitsmaßes. Die Ermittlung des Zuverlässigkeitsmaßes erfordert im allgemeinen einen Aufwand an Additionen, der proportional zu $\min(2^k, 2^{n-k})$ ist. Somit ist die direkte Berechnung der Zuverlässigkeitsmaße und die Ermittlung der digitalen Werte abhängig von den Zuverlässigkeitsmaßen häufig nicht numerisch realisierbar. Für den sog. BCH(255, 191)-Code (vgl. [2]) wären für die Berechnung der 191 Zuverlässigkeitsmaße und digitalen Signalwerte ca. 10^{20} Additionen erforderlich.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal, welches Signalinformation und aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation enthält, anzugeben, bei denen eine gegenüber dem bekannten Verfahren vereinfachte Ermittlung möglich ist.

Das Problem wird durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1 sowie durch die Anordnung gemäß Patentanspruch 10 gelöst.

Bei dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 wird aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwertes approximiert und abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß der Signalwert ermittelt.

10

Die Anordnung gemäß Patentanspruch 10 enthält eine Recheneinheit, die derart eingerichtet ist, daß aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwertes approximiert wird und daß abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß der Signalwert ermittelt wird.

Durch die Approximation des bisher exakt zu ermittelnden Zuverlässigkeitsmaßes, von dem abhängig der Signalwert ermittelt wird, wird eine erhebliche Vereinfachung bei der Ermittlung des digitalen Signalwerts erreicht. Dies führt zu einer erheblich schnelleren Durchführbarkeit des Verfahrens durch einen Rechner bzw. zur erheblichen Einsparung an Kosten für die Realisierung der Anordnung zur Ermittlung des digitalen Signalwerts. Damit wird häufig erst eine numerische Lösung der Soft-Decision-Decodierung überhaupt möglich.

Anschaulich ist die Erfindung darin zu sehen, daß das bisher lediglich exakt berechenbare Zuverlässigkeitsmaß approximiert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es vorteilhaft, daß die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart erfolgt, daß eine Zielfunktion optimiert wird, wobei die Zielfunktion ein Modell eines Übertragungskanals, über den das elektrische Signal übertragen wurde, enthält.

Durch diese Ausgestaltung ist eine sehr einfache und somit schnell durchführbare Möglichkeit angegeben, die sogar die Eigenschaften des Übertragungskanals und somit die Störeigenschaften des gestörten Signals berücksichtigt.

Die Minimierung der Zielfunktion, die als Approximationskriterium die Eigenschaften des Kanals in Form des Modells enthält, führt dazu, daß die Effizienz des Verfahrens bzw. der

- Anordnung erheblich verbessert wird. Durch diese Weiterbildung wird eine gegenüber bekannten Verfahren bei gleicher Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei der Ermittlung der digitalen Signalwerte eine erhebliche Reduktion des Signal-/Rausch-
- 5 Verhältnisses $\frac{N_0}{E_b}$ erreicht. Die Verbesserung des Signal-/Rauschverhältnisses beträgt je nach verwendeter Kanalcodierung bis annähernd 3 dB, was der theoretisch maximal erreichbaren Verbesserung entspräche.
- 10 Schon eine Einsparung von 1 dB kann beispielsweise bei der Funkübertragung von Raumsonden zu einer Kostenersparnis von etwa 75 Mio US-\$ bei dem Bau der Raumsonde führen. Somit wird auch für den Sender erhebliche Kosteneinsparung möglich, wenn die Decodierung nach dieser Weiterbildung erfolgt, bzw. die
- 15 Anordnung gemäß der Weiterbildung derart eingerichtet ist, daß die Approximation durch Optimierung einer Zielfunktion, die ein Modell des Übertragungskanals enthält, erfolgt, erreicht wird.
- 20 Ferner ist es in einer Weiterbildung sowohl des Verfahrens als auch der Anordnung vorteilhaft, daß die Zielfunktion nach folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_{bk}}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} - \frac{4E_{bk}}{N_0 n} y_i \right)^2.$$

- 25 Hierbei ist eine veränderte Skalierung oder eine leichte Abänderung und Vernachlässigung einiger Werte in der Zielfunktion sowie der Grad der Zählerfunktion (Grad der Zielfunktion) nicht wesentlich und kann beliebig verändert werden.
- 30 Durch diese Zielfunktion ist ein Modell angegeben für den Übertragungskanal, in dem die angenommenen Modelleigenschaften

ten des Übertragungskanal berücksichtigt wird, was bei Optimierung der Zielfunktion, beispielsweise einer Minimierung der Fehlerfunktion sehr gute Ergebnisse bei der Ermittlung der Signalwerte nach der Optimierung liefert.

5

Ferner ist es vorteilhaft, die Zielfunktion einer globalen Minimierung zu unterziehen, da durch diese Vorgehensweise die in dem elektrischen Signal enthaltene Information im Rahmen der Optimierung und somit auch bei der Ermittlung des Signal-

10

werts optimal ausgenutzt wird.

Es ist ferner vorteilhaft, daß das elektrische Signal ein Funksignal ist und somit die Anordnung ein Funkübertragungssystem mit einer erfindungsgemäße Anordnung ist, da das Ver-

15

fahren gerade im Bereich der Funkübertragung, insbesondere bei der Übertragung von Funksignalen durch eine Raumsonde erhebliche Einsparungen ermöglicht.

Das Verfahren kann ferner vorteilhaft eingesetzt werden bei

20

der Archivierung und Rekonstruktion archivierter gespeicherter digitaler Daten, die in einem Speichermedium (z.B. Magnetbandspeicher, Festplattenspeicher, etc.), da auch bei dieser Anwendung ein verbessertes Signal-/Rausch-Verhältnis von erheblicher Bedeutung ist.

25

In den Figuren sind Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben, die im weiteren näher erläutert werden.

Es zeigen

30

Fig. 1 ein Ablaufdiagramm, in dem das Verfahren, welches in einer Recheneinheit durchgeführt wird, in seinen einzelnen Verfahrensschritten dargestellt ist;

35

Fig. 2 ein Blockschaltbild, bei dem das Senden, das Übertragen und das Empfangen des elektrischen Signals dargestellt ist;

Fig. 3 eine Skizze eines Funkübertragungssystems;

Fig. 4 eine Skizze eines Archivierungssystems zur Archivierung digitaler Daten.

5 In Fig. 2 ist symbolisch eine Quelle 201 dargestellt, von der aus eine Nachricht N zu einer Senke 209 übertragen werden soll.

Die zu übertragende Nachricht N wird einem Quellencodierer 202 zugeführt, wo sie derart komprimiert wird, daß zwar keine
10 Informationen verloren gehen, aber für die Decodierung der Nachricht überflüssige Redundanzinformation eliminiert wird und somit die benötigte Übertragungskapazität verringert wird.

15 Ausgabe des Quellencodierers 202 ist das Codewort $\underline{u} \in \{\pm 1\}^k$, das aus einer Folge digitaler Werte besteht. Dabei ist für jedes Codewort \underline{u} vorausgesetzt, daß jeder Wert u_i , $i=1, \dots, k$ des Codewortes \underline{u} mit gleicher Wahrscheinlichkeit einen ersten Wert (logisch „0“ oder logisch „+1“) bzw. einen zweiten Wert
20 (logisch „1“ oder logisch „-1“) annimmt.

Das Codewort \underline{u} wird einer Einheit zur Kanalcodierung 203 zugeführt, in der eine Kanalcodierung des Codeswortes \underline{u} erfolgt. Bei der Kanalcodierung wird dem Codewort \underline{u} gezielt
25 Redundanzinformation hinzugefügt, um bei der Übertragung möglicherweise entstehende Übertragungsfehler korrigieren oder zumindest erkennen zu können, und somit eine hohe Übertragungszuverlässigkeit zu erreichen.

30 Im weiteren wird davon ausgegangen, daß durch die Kanalcodierung jedem Codewort $\underline{u} \in \{\pm 1\}^k$ ein Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$ zugeordnet wird. Die Ausgabe der Einheit zur Kanalcodierung 203 besteht somit aus dem Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$.

35 Das Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$ wird einer Einheit zur Modulation 204 des Kanalcodewortes \underline{c} zugeführt. Bei der Modulation wird

dem Kanalcodewort \underline{c} eine für die Übertragung über einen physikalischen Kanal 205 geeignete Funktion $s: \mathcal{R} \rightarrow \mathcal{R}$ zugeordnet.

5 Das zu übertragende Signal enthält also sowohl Signalinformation, d.h. das Kanalcodewort \underline{c} als auch aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation, d.h. zusätzlich sog. Prüfwerte. Das modulierte Signal s wird über den physikalischen Kanal 205 zu einer Empfängereinheit übertragen. Bei der
10 Übertragung über den physikalischen Kanal 205 tritt häufig eine Störung 210 auf, die das modulierte Signal s verfälscht. Somit liegt bei der Empfängereinheit ein verändertes modulierte Signal \tilde{s} an, welches Einheit zur Demodulation 206 zugeführt wird.

15 In der Einheit zur Demodulation 206 erfolgt eine Demodulation des veränderten modulierten Signals \tilde{s} . Ausgabe der Demodulation ist eine im weiteren als elektrisches Signal bezeichneter Vektor $\underline{y} \in \mathcal{R}^n$, welcher das digitale, demodulierte veränderte Signal \tilde{s} beschreibt.
20

Im Rahmen der weiteren Betrachtungen wird zur Modellierung des physikalischen Kanals 205 das Modell des sog. AWGN-Kanals, wie oben beschrieben wurde, verwendet. Zur Vereinfachung wird im weiteren sowohl die Einheit zur Modulation 204
25 als auch die Einheit zur Demodulation 206 des Senders 200 bzw. des Empfängers 211 in dem Modell des Übertragungskanals mit berücksichtigt.

30 Das elektrische Signal \underline{y} wird in einer Einheit zur Kanaldecodierung 207 einer Kanaldecodierung unterzogen. Vektorkomponenten y_i des elektrischen Signals \underline{y} enthalten sowohl eine Vorzeicheninformation als auch eine Betragsinformation.

35 Die Betragsinformation ist jeweils der Absolutbetrag der Vektorkomponente y_i , der auch als Zuverlässigkeitsinformation

für das entsprechende Vorzeichen der Vektorkomponente y_i bezeichnet wird.

Bei der Kanaldecodierung besteht die Aufgabe, eine sog. Soft-
5 Decision-Decodierung durchzuführen. Dies bedeutet, daß zum
einen ein rekonstruiertes Codewort \tilde{u} rekonstruiert wird und
ferner für jede Komponente eine Zuverlässigkeitsinformation
ermittelt wird, das die getroffene Entscheidung zur Rekon-
struktion einer Komponente \tilde{u}_i des rekonstruierten Codeworts
10 \tilde{u} beschreibt. Eine Komponente \tilde{u}_i des rekonstruierten Code-
worts \tilde{u} wird im weiteren als digitaler Signalwert bezeich-
net.

Das rekonstruierte Codewort \tilde{u} , d.h. mindestens ein digitaler
15 Signalwert wird einer Einheit zur Quellendecodierung 208 zu-
geführt, in der eine Quellendecodierung erfolgt. Das deco-
dierte Signal wird schließlich der Senke 209 zugeführt.

In Fig. 1 ist die Kanaldecodierung 207 detaillierter in Form
20 eines Ablaufdiagramms beschrieben.

In einem ersten Schritt 101 wird eine Zielfunktion f , die ein
nichtlineares Regressionsmodell des Übertragungskanals 204,
205, 206, enthält, optimiert.

25 Im weiteren wird zur Veranschaulichung das nichtlineare Re-
gressionsmodell hergeleitet.

Aus der oben beschriebenen Vorschrift (16) zur exakten Er-
30 mittlung des Zuverlässigkeitsmaßes:

$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)} \quad (16),$$

wobei mit

- N_0 eine einseitige Rauschleistungsdichte,
- n eine Anzahl von in dem Signal enthaltenen digitalen
- 5 Signalwerten,
- E_b eine mittlere Signalenergie für einen der k Signalwerte, d.h. der Informationsbits,
- k eine Anzahl in dem elektrischen Signal enthaltener digitaler Signalwerte,
- 10 - \underline{y} ein Vektor aus \mathcal{R}^n , welcher das Signal beschreibt,
- C die Menge aller Kanalcodeworte,
- \underline{c} eine n -dimensionale Zufallsgröße zur Beschreibung des Signalwerts,
- \underline{v} ein Vektor aus C ,
- 15 - i ein Index zur eindeutigen Bezeichnung des Signalwerts v_i ,
- U_i eine Zufallsvariable des Signalwerts v_i ,
- $L(U_i|\underline{y})$ das Zuverlässigkeitsmaß,
- J_i eine Menge digitaler Werte der Redundanzinformation, und
- 20 - j ein weiterer Index bezeichnet wird,

lassen sich im Zähler der Faktor

$$\exp \left(- \frac{(y_i - 1)^2}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right) \quad (18)$$

und im Nenner der Faktor

$$\exp\left(-\frac{(y_i + 1)^2}{\frac{N_{0n}}{E_{bk}}}\right) \quad (19)$$

ausklammern.

5

Nach der Ausklammerung ergibt sich für alle $i = 1, \dots, k$ mit entsprechenden Faktoren τ_i , die nun nicht mehr von den Komponenten y_i des elektrischen Signals abhängen, folgende Vorschrift:

10

$$L(U_i | \underline{y}) = \ln \frac{\exp\left(-\frac{(y_i - 1)^2}{\frac{N_{0n}}{E_{bk}}}\right)}{\exp\left(-\frac{(y_i + 1)^2}{\frac{N_{0n}}{E_{bk}}}\right)} + \tau_i = \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i + \tau_i \quad (20).$$

Für $i = k + 1, \dots, n$ gilt:

$$15 \quad L\left(\bigoplus_{j \in J_i} U_j | \underline{y}\right) = \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i + \tau_i \quad (21).$$

20 Wäre der physikalische Kanal 205 nicht gestört, dann würde für $i = 1, \dots, k$ allein die Beobachtung der jeweiligen Komponente y_i des elektrischen Signals genügen, um die Verteilung von U_i unter der Bedingung, daß die Zufallsvariable \underline{y} den Wert \underline{y} annimmt, festzulegen. Somit wären alle Faktoren $\tau_i = 0$. Analog verhält es sich für $i = k + 1, \dots, n$ mit der Verteilung $\bigoplus_{j \in J_i} U_j$ unter der Bedingung, daß die Zufallsvariable \underline{y} den Wert \underline{y} annimmt. Auch in diesem Fall wären alle Faktoren $\tau_i = 0$. Somit sind die Absolutbeträge der Faktoren τ_1, \dots, τ_n ein Maß für die Kanalstörung.

25

Unter der Bedingung, daß das Signal \underline{y} empfangen wurde, geht die stochastische Unabhängigkeit der Variablen U_1, \dots, U_k , verloren.

5

Es gilt somit für $i = k + 1, \dots, n$ mit entsprechendem Fehlerfaktor ρ_i :

$$L\left(\bigoplus_{j \in J_i} U_j | \underline{y}\right) = \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}} \right) + \rho_i \quad (22).$$

10

Auch für die Fehlerfaktoren $\rho_{k+1}, \dots, \rho_n$ ist offensichtlich, daß alle $\rho_{k+1}, \dots, \rho_n$ gleich 0 gesetzt werden können, falls der physikalische Kanal nicht gestört ist.

15

Insgesamt ergibt sich folgende Vorschrift:

$$\frac{4E_{bk}}{N_0 n} \underline{y} = \begin{pmatrix} L(U_1 | \underline{y}) \\ \vdots \\ L(U_k | \underline{y}) \\ \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}} \right) \\ \vdots \\ \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}} \right) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_k \\ \tau_{k+1} - \rho_{k+1} \\ \vdots \\ \tau_n - \rho_n \end{pmatrix}$$

(23).

Ersetzt man nun die Werte

$$\begin{aligned} \text{für } i = 1, \dots, k \quad L(U_i | \underline{y}) &= \beta_i; \quad -\tau_i = e_i \\ \text{für } i = k+1, \dots, n \quad \rho_i - \tau_i &= e_i \end{aligned} \quad (24),$$

5

so folgt daraus das folgende nichtlineare Regressionsproblem:

$$\frac{4E_{bk}}{N_{0n}} \underline{y} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \\ \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) \\ \vdots \\ \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) \end{pmatrix} + \underline{e} \quad (25).$$

- 10 Da ein Fehlervektor \underline{e} gleich dem Nullvektor ist, falls keine Störung des physikalischen Kanals gegeben ist und aufgrund des stochastischen Modells der Kanalstörung wird vorausgesetzt, daß der Fehlervektor \underline{e} eine Realisierung einer Zufallsvariablen $\underline{E}: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ ist mit Erwartungswert $E(\underline{E}=0)$. Die
- 15 Zuverlässigkeitsmaße werden also durch Minimierung des Einflusses der Kanalstörung approximiert.

Jeweils ein Zuverlässigkeitsmaß dient zur Rekonstruktion jeweils eines digitalen Signalwerts.

20

20

Das nichtlineare Regressionsproblem wird durch eine Zielfunktion f formuliert und gelöst, wenn die Zielfunktion f optimiert, in diesem Fall minimiert wird.

- 5 Die Zielfunktion f wird nach folgender Vorschrift gebildet:

$$\min \{ \underline{e}(\beta)^T \underline{e}(\beta) \} = \min \{ f \}$$

mit

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} - \frac{4E_{bk}}{N_{0n}} y_i \right)^2 \quad (26).$$

10

Die Lösung des nichtlinearen Regressionsproblems erfolgt durch Minimierung der Zielfunktion f .

- 15 Für die Minimierung der Zielfunktion f wird ein Verfahren zur globalen Minimierung, welches aus [4] bekannt ist, verwendet.

- Die Zielfunktion f ist im allgemeinen nicht konvex und deshalb ist es vorteilhaft, zur Minimierung der Zielfunktion einen Algorithmus zur globalen Minimierung einzusetzen, weil es auf diese Weise möglich ist, die gegebenen Informationen im Sinne der Informationstheorie optimal auszunutzen.

- 25 Für die Komponenten y_i des elektrischen Signals y wird unter Verwendung eines neuronalen Netzes, dessen Struktur sich durch die ermittelten Parameter der optimierten Zielfunktion f ergeben, jeweils ein Zuverlässigkeitsmaß approximiert (Schritt 102).

- 30 In einem letzten Schritt 103 wird der digitale Signalwert bzw. die digitalen Signalwerte \tilde{u}_i aus dem elektrischen Signal y abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß ermittelt. Dabei

wird als Kriterium zur Zuordnung des ersten bzw. des zweiten Wertes zu dem digitalen Signalwert \tilde{u}_i die Vorzeicheninformation des jeweiligen Zuverlässigkeitsmaßes verwendet.

- 5 Weist das Zuverlässigkeitsmaß einen Wert größer 0 auf, so wird dem digitalen Signalwert \tilde{u}_i der zweite Wert (logisch „1“ oder logisch „-1“) zugeordnet und weist das Zuverlässigkeitsmaß einen Wert kleiner 0 auf, so wird dem digitalen Signalwert \tilde{u}_i der erste Wert (logisch „0“ bzw. logisch „+1“) zugeordnet.
- 10

Dies wird für alle zu rekonstruierenden digitalen Signalwerte \tilde{u}_i durchgeführt, deren Rekonstruktion erwünscht ist.

- 15 Die Anordnung zur Kanaldecodierung 207 ist derart ausgestaltet, daß das oben beschriebene Verfahren durchgeführt wird. Dies kann durch Programmierung einer Recheneinheit oder auch durch eine auf das Verfahren abgestimmte elektrische Schaltung erfolgen.

20

Im weiteren werden einige Alternativen und Verallgemeinerungen des oben beschriebenen Verfahrens bzw. der Anordnung aufgezeigt:

- 25 Es ist nicht notwendig, eine globale Minimierung der Zielfunktion durchzuführen. Die Minimierung kann ebenfalls durch ein Verfahren zur lokalen Minimierung erfolgen, z.B. mittels des sog. BFGS-Verfahrens (Broyden, Fletcher, Goldfarb, Shanno-Verfahren). Auch ist die Minimierung der Zielfunktion nicht auf das in [4] beschriebene Verfahren beschränkt. Weitere Verfahren zur Minimierung können ebenso eingesetzt werden.
- 30

- Auch ist es nicht erforderlich, daß als Zielfunktion eine quadratische Norm minimiert wird, allgemein kann jede beliebige Norm des Vektors $e(\beta)$ eingesetzt werden.
- 35

In Fig. 3 ist ein Funkübertragungssystem dargestellt, welches eine Anordnung mit den oben beschriebenen Merkmalen enthält. Eine Sendeeinrichtung 301, vorzugsweise eine Raumsonde überträgt ein Funksignal 303 über einen physikalischen Kanal 205, in diesem Fall durch Luft. Das Funksignal 303 wird über eine Antenne 302 der Empfängeranordnung 305 empfangen und als elektrisches Signal der Anordnung 304 zugeführt, die das Mittel zur Demodulation 206, das Mittel zur Kanaldecodierung 207, sowie das Mittel zur Quellendecodierung 208 enthält.

10

In Fig. 4 ist ein System 403 zur Rekonstruktion archivierter digitaler Daten dargestellt. In einem Speicher 401, z.B. einem magnetischer Speicher (Magnetbandspeicher, Festplattenspeicher, etc.) werden digitale Daten archiviert. Bei der Rekonstruktion kann unter Verwendung einer Anordnung mit dem Mittel zur Kanaldecodierung 207 das oben beschriebene Verfahren zur Rekonstruktion des mindestens einen digitalen Signalwerts \tilde{U}_i aus dem elektrischen Signal, welches in diesem Fall aus dem Speicher 401 ausgelesene digitalen Signale beschreibt, durchgeführt werden.

20

Anschaulich ist die Erfindung darin zu sehen, daß das bisher lediglich exakt berechenbare Zuverlässigkeitsmaß approximiert wird.

Im Rahmen dieses Dokumentes wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

- 5 [1] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, S. 1-30, 1996.

- 10 [2] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, S. 69-125, S.193-242, 1996

- 15 [3] J. Hagenauer et al, Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes, IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 42, 1996

- [4] S. Schäffler, Unconstrained Global Optimization Using Stochastic Integral Equations, Optimization, Vol. 35, S. 43-60, 1995

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal, welches Signalinformation und aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation enthält,
 5 - bei dem aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwerts approximiert wird, wobei die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart erfolgt, daß
 10 eine Zielfunktion, die ein Modell eines Übertragungskanals enthält, über den das elektrische Signal übertragen wurde, optimiert wird, und
 - bei dem abhängig von dem jeweiligen Zuverlässigkeitsmaß der digitale Signalwert ermittelt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1,
 bei dem mehrere digitale Signalwerte aus dem elektrischen Signal ermittelt werden.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
 bei dem das Modell ein nichtlineares Regressionsmodell des Übertragungskanals ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
 25 bei dem die Zielfunktion nach folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2$$

30 mit

$$\beta_i = L(U_i | y), \text{ und mit}$$

$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{v \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\sum_{\substack{v \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}, \text{ wobei mit}$$

- N_0 eine einseitige Rauschleistungsdichte,
- 5 - n eine Anzahl von in dem Signal enthaltenen digitalen Signalwerten,
- E_b eine mittlere Signalenergie für einen der k Signalwerte,
- k eine Anzahl in dem elektrischen Signal enthaltener digitaler Signalwerte,
- 10 - \underline{y} ein Vektor aus \mathcal{R}^n , welcher das Signal beschreibt,
- C die Menge aller Kanalcodeworte,
- \underline{c} eine n -dimensionale Zufallsgröße zur Beschreibung des Signalwerts,
- \underline{v} ein Vektor aus C ,
- 15 - i ein Index zur eindeutigen Bezeichnung des Signalwerts v_i ,
- U_i eine Zufallsvariable des Signalwerts v_i ,
- $L(U_i|\underline{y})$ das Zuverlässigkeitsmaß,
- J_i eine Menge digitaler Werte der Redundanzinformation, und
- 20 - j ein weiterer Index

bezeichnet wird.

- 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
- 25 bei dem die Zielfunktion einer globalen Minimierung unterzogen wird.

- 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

- bei dem das Zuverlässigkeitsmaß eine Vorzeicheninformation und eine Betragsinformation aufweist, und
- bei dem die Ermittlung des Signalwerts nur abhängig von der Vorzeicheninformation erfolgt.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem das elektrische Signal ein systematischer Blockcode ist.

10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das elektrische Signal ein Funksignal ist.

15

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem das elektrische Signal ein restauriertes Signal archivierter digitaler Daten ist.

20

10. Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal, welches Signalinformation und aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation enthält, mit einer Recheneinheit, die derart eingerichtet ist,

- daß aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwerts approximiert wird, wobei die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart erfolgt, daß eine

25 Zielfunktion, die ein Modell eines Übertragungskanals enthält, über den das elektrische Signal übertragen wurde, optimiert wird, und

- daß abhängig von dem jeweiligen Zuverlässigkeitsmaß der digitale Signalwert ermittelt wird.

30

11. Anordnung nach Anspruch 10, mit einer Empfängereinheit zum Empfangen des elektrischen Signals und zur Zuführung des elektrischen Signals zu der Recheneinheit.

35

12. Anordnung nach Anspruch 11,

mit einer Demodulatoreinheit zur Demodulation des elektrischen Signals, die über einen Eingang mit der Empfangereinheit und über einen Ausgang mit der Recheneinheit verbunden ist.

5

13. Anordnung nach Anspruch 11 oder 12,
bei der die Empfangereinheit eine Antenne aufweist.

14. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 13,
10 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist, daß mehrere digitale Signalwerte aus dem elektrischen Signal ermittelt werden.

15. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 14,
15 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist, daß das Modell ein nichtlineares Regressionsmodell des Übertragungskanals ist.

16. Anordnung nach Anspruch 15,
20 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist,
- daß die Zielfunktion nach folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right) \right)^2$$

25

mit

$\beta_i = L(U_i | \underline{y})$, und mit

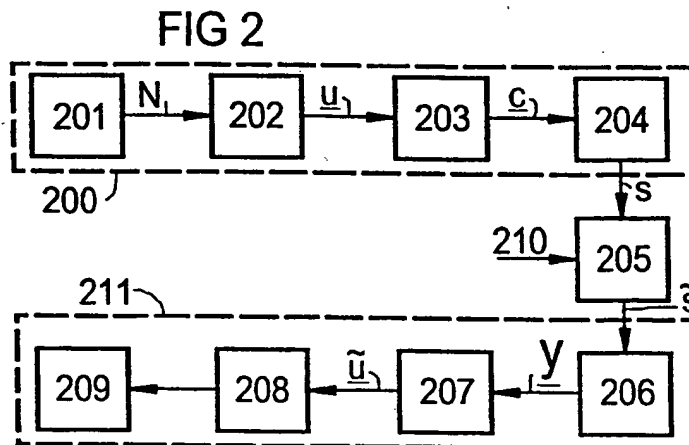
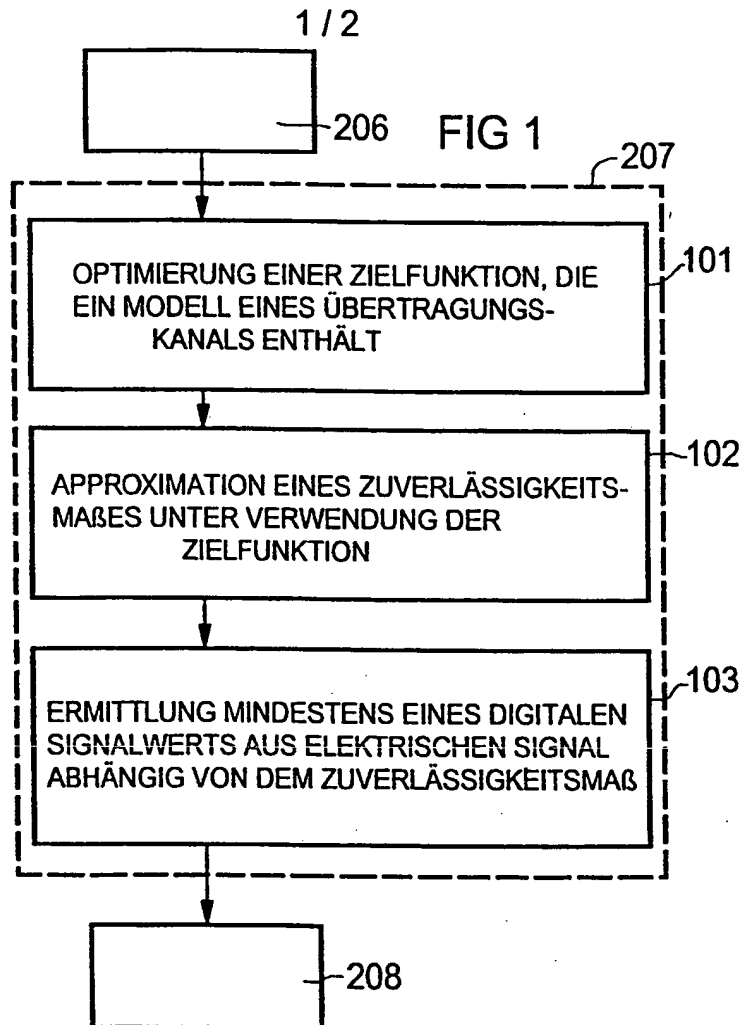
$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_{bk}}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_{bk}}} \right)}, \text{ wobei mit}$$

- N_0 eine einseitige Rauschleistungsdichte,
- n eine Anzahl von in dem Signal enthaltenen digitalen
- 5 Signalwerten,
- E_b eine mittlere Signalenergie für einen der k Signalwerte,
- k eine Anzahl in dem elektrischen Signal enthaltener digitaler Signalwerte,
- \underline{y} ein Vektor aus \mathcal{R}^n , welcher das Signal beschreibt,
- 10 - C die Menge aller Kanalcodeworte,
- \underline{c} eine n -dimensionale Zufallsgröße zur Beschreibung des Signalwerts,
- \underline{v} ein Vektor aus C ,
- i ein Index zur eindeutigen Bezeichnung des Signal-
- 15 werts v_i ,
- U_i eine Zufallsvariable des Signalwerts v_i ,
- $L(U_i|\underline{y})$ das Zuverlässigkeitsmaß,
- J_i eine Menge digitaler Werte der Redundanzinformation, und
- j ein weiterer Index
- 20 bezeichnet wird.

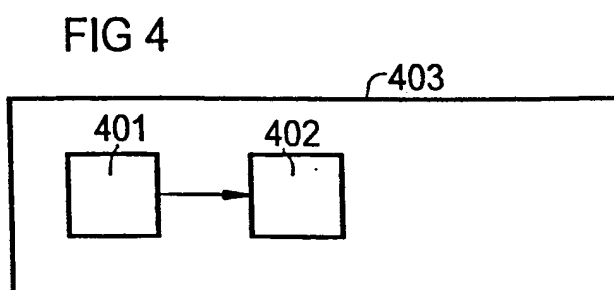
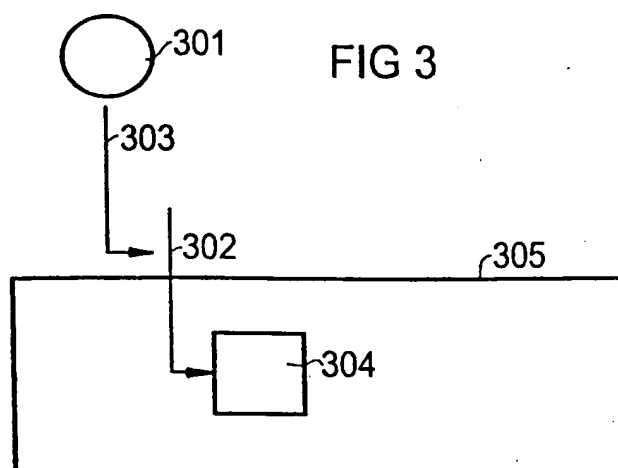
17. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 16,
 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist, daß die
 25 Zielfunktion einer globalen Minimierung unterzogen wird.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, welche einem Funkübertragungssystem zugeordnet ist.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, welche einem System zur Rekonstruktion archivierter digitaler Daten zugeordnet ist.



2/2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No
PCT/DE 98/00850

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H03M13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 H03M H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>YOU Y -L ET AL: "BLIND EQUALIZATION BY ALTERNATING MINIMIZATION FOR APPLICATIONS TO MOBILE COMMUNICATIONS" GLOBECOM '95. IEEE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE, SINGAPORE, NOV. 14 - 16, 1995, vol. 1, 14 November 1995, pages 88-92, XP000621461 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS see paragraph 2</p> <p style="text-align: center;">--- -/--</p>	1,2, 10-14

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☐ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 October 1998

Date of mailing of the international search report

19/10/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Augarde, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat'l Application No
PCT/DE 98/00850

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	RAMESH PYNDIAH ET AL: "NEAR OPTIMUM DECODING OF PRODUCT CODES" PROCEEDINGS OF THE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM), SAN FRANCISCO, NOV. 28 - DEC. 2, 1994, vol. 1, 28 November 1994, pages 339-343, XP000488569 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS -----	1,10
A	OFFER E: "SOFT-IN/SOFT-OUT DECODERS FOR LINEAR BLOCK CODES" CODIERUNG FUR QUELLE, KANAL UND UBERTRAGUNG, VORTRAGE DER ITG-FACHTAGUNG, MUNCHEN, OCT. 26 -28, 1994, no. 130, 1 January 1994, pages 31-40, XP000503775 INFORMATIONSTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE (ITG) see paragraph 2 see paragraph 3.1 see paragraph 3.2 -----	1,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern: ales Aktenzeichen

PCT/DE 98/00850

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H03M13/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H03M H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>YOU Y -L ET AL: "BLIND EQUALIZATION BY ALTERNATING MINIMIZATION FOR APPLICATIONS TO MOBILE COMMUNICATIONS"</p> <p>GLOBECOM '95. IEEE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE, SINGAPORE, NOV. 14 - 16, 1995,</p> <p>Bd. 1, 14. November 1995, Seiten 88-92, XP000621461</p> <p>INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS</p> <p>· siehe Absatz 2</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1,2, 10-14

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindertischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindertischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Oktober 1998

Abschließdatum des internationalen Recherchenberichts

19/10/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Augarde, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	RAMESH PYNDIAH ET AL: "NEAR OPTIMUM DECODING OF PRODUCT CODES" PROCEEDINGS OF THE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM), SAN FRANCISCO, NOV. 28 - DEC. 2, 1994, Bd. 1, 28. November 1994, Seiten 339-343, XP000488569 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS -----	1,10
A	OFFER E: "SOFT-IN/SOFT-OUT DECODERS FOR LINEAR BLOCK CODES" CODIERUNG FÜR QUELLE, KANAL UND ÜBERTRAGUNG, VORTRAG DER ITG-FACHTAGUNG, MÜNCHEN, OCT. 26 -28, 1994, Nr. 130, 1. Januar 1994, Seiten 31-40, XP000503775 INFORMATIONSTECHNISCHE GESELLSCHAFT IM VDE (ITG) siehe Absatz 2 siehe Absatz 3.1 siehe Absatz 3.2 -----	1,10

420 Rec'd PCT/PTO ^{PCT} 11 NOV 1999

1

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal

5

Ziel der von Claude Shannon 1948 begründeten Informationstheorie ist es, leistungsfähige Codes zur Codierung, Übertragung und Decodierung digitaler Daten zu entwickeln und bei der Decodierung die verfügbaren Informationen der codierten Daten möglichst optimal auszunutzen.

10

Bei der Decodierung digitaler Daten wird zwischen zwei Arten der Decodierung unterschieden:

- Bei der sog. Hard-Decision-Decodierung wird ein empfangenes, durch die Übertragung über einen Kanal verrauschtes Signal in eine Folge digitaler Daten decodiert, wobei lediglich der digitale Wert des jeweils empfangenen Signals klassifiziert wird;
- bei der sog. Soft-Decision-Decodierung wird für jedes zu decodierende Informationszeichen zusätzlich eine A posteriori-Wahrscheinlichkeit für den zu klassifizierenden Wert ermittelt. Solche A posteriori-Wahrscheinlichkeiten werden auch als Soft-Outputs bezeichnet und bilden ein Maß für die Zuverlässigkeit der Decodierung.

20
25

Im weiteren wird die Soft-Decision-Decodierung betrachtet.

Grundlagen über sog. Block-Codes sind aus [2] bekannt.

Aus [3] ist es bekannt, für einen binären linearen Blockcode eine Soft-Decision-Decodierung durchzuführen.

30

Im weiteren wird das Verfahren aus [3] zur exakten Berechnung digitaler Signalwerte aus einem elektrischen Signal unter Verwendung der sog. Log-Likelihood-Algebra erläutert.

35

2

Im weiteren wird angenommen, daß die Ausgabe eines Quellencodierers einer ersten Anordnung aus einer Folge digitaler, vorzugsweise binärer Signalworte, die im weiteren als Codewörter bezeichnet werden, besteht. Es werden endlich viele, stochastisch unabhängige Zufallsvariablen

$$U_i: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}, \quad i = 1, \dots, m \quad m \in \mathbb{N} \quad (1)$$

betrachtet, die auf einem Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, S, P) definiert sind. Mit S wird eine σ -Algebra bezeichnet, d.h. die Menge der Ereignisse, für die eine Wahrscheinlichkeit definiert ist. Mit P wird ein Wahrscheinlichkeitsmaß bezeichnet ($P: S \rightarrow [0, 1]$). Unter der Voraussetzung, daß die Ungleichungen

$$0 < P(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = -1\}) < 1, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

erfüllt sind, werden sog. L-Werte der Zufallsvariablen U_i durch

$$L(U_i) := \ln \left(\frac{P(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = +1\})}{P(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = -1\})} \right), \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

definiert.

Codeworte \underline{u} haben folgenden Aufbau:

$$\underline{u} \in \{\pm 1\}^k.$$

Dabei ist für jedes Codewort \underline{u} vorausgesetzt, daß jeder digitaler Wert u_i , $i=1 \dots k$ des Codeworts \underline{u} , mit gleicher Wahrscheinlichkeit einen ersten Wert (logisch „0“ oder logisch „+1“) oder einen zweiten Wert (logisch „1“ oder logisch „-1“) annimmt. Da bei der Übertragung von Nachrichten mit Störungen zu rechnen ist, die die Nachrichten verfälschen

können, wird ein weiterer Codierungsschritt, die Kanalcodierung, durchgeführt.

Bei der Kanalcodierung wird, wie in [1] beschrieben, den eingehenden Codewörtern \underline{u} gezielt Redundanz hinzugefügt, um mögliche Übertragungsfehler korrigieren zu können und somit eine hohe Übertragungszuverlässigkeit zu sichern. Im folgenden wird davon ausgegangen, daß bei der Kanalcodierung jedem Codewort $\underline{u} \in \{\pm 1\}^k$ ein Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$, $n > k$, $n \in \mathbb{N}$, zugeordnet wird. Die Ausgabe der Einrichtung zur Kanalcodierung besteht somit aus Codewörtern der Form $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$.

Die Kanalcodewörter werden über einen physikalischen Kanal, beispielsweise eine Teilnehmeranschlußleitung, Koaxialkabel, Mobilfunk, Richtfunk, etc., von einer Sendeeinrichtung zu einer Empfangseinrichtung übertragen.

Da der physikalische Kanal oftmals keine diskreten Symbole, sondern nur zeitkontinuierliche Signale (also spezielle Funktionen $s: \mathcal{R} \rightarrow \mathcal{R}$) übertragen kann, ist oftmals ein Modulator vorgesehen, durch den dem Kanalcodewort \underline{c} eine für die Übertragung über den physikalischen Kanal geeignete Funktion zugeordnet wird. Eine wichtige Kenngröße des gesendeten elektrischen Signals ist die mittlere Energie E_b , die für die Übertragung eines Informationsbits des Kanalcodeworts \underline{c} verwendet wird.

Da bei der Übertragung eines elektrischen Signals über einen physikalischen Kanal eine Störung auftreten kann, wird im allgemeinen ein elektrisches Signal $\tilde{s}: \mathcal{R} \rightarrow \mathcal{R}$, welches gegenüber dem gesendeten elektrischen Signal verändert ist, empfangen.

Die Störung wird mit Methoden der stochastischen Signaltheorie beschrieben. Eine Kenngröße der Störung ist die bekannte einseitige Rauschleistungsdichte N_0 , die bestimmt ist durch den Kanal. Nach einer eventuellen Demodulation des empfangen-

nen elektrischen Signals \tilde{s} liegt anstelle des Codeworts \underline{c} ein Vektor $\underline{y} \in \mathbb{R}^n$ vor. Der Absolutbetrag jeder Komponente des Vektors \underline{y} wird dabei als Zuverlässigkeitsinformation für das entsprechende Vorzeichen der Komponente im Rahmen der
5 Soft-Decision-Decodierung interpretiert.

Die Kanaldecodierung hat nun die Aufgabe, unter Verwendung des empfangenen, eventuell demodulierten elektrischen Signals \tilde{s} , welches schließlich als Vektor \underline{y} zur Verfügung steht, das
10 Codewort \underline{u} , welches ursprünglich vorlag, zu rekonstruieren.

Es ist üblich, den physikalischen Kanal und dessen Störeigenschaften zu modellieren. Ein dazu häufig verwendetes Modell ist der sog. invariante AWGN-Kanal (Additive Gaussian White
15 Noise). Im weiteren wird, wenn ein Modulator und ein Demodulator vorhanden sind, in diesem Modell die Gesamtheit von Modulator, physikalischem Kanal und Demodulator als Kanal bezeichnet. Bei dem AWGN-Kanal wird davon ausgegangen, daß die Ausgabe des Kanalcodierers, d.h. das Kanalcodewort \underline{c} durch
20 eine $N\left(0, \frac{N_0 n}{2E_b k}, \underline{I}_n\right)$ -normal verteilte Zufallsvariable additiv überlagert wird, wobei mit \underline{I}_n die n-dimensionale Einheitsmatrix bezeichnet wird. Der Quotient $\frac{N_0}{E_b}$ ist bekannt und wird
auch als Signal-/Rausch-Verhältnis bezeichnet.

25 Durch vollständige Induktion nach m läßt sich aufgrund der stochastischen Unabhängigkeit der Zufallsvariablen U_1, \dots, U_m zeigen, daß für den L-Wert der verketteten Zufallsvariablen $U_1 \oplus \dots \oplus U_m$ gilt (mit \oplus wird eine Exklusiv-Oder-Verknüpfung bezeichnet):

30
$$U_1 \oplus U_2 \oplus \dots \oplus U_m: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}, \omega \rightarrow U_1(\omega) \oplus U_2(\omega) \oplus \dots \oplus U_m(\omega) \quad (4)$$

und

$$L(U_1 \oplus U_2 \oplus \dots \oplus U_m) = \ln \left(\frac{1 + \prod_{i=1}^m \frac{\exp(L(U_i)) - 1}{\exp(L(U_i)) + 1}}{1 - \prod_{i=1}^m \frac{\exp(L(U_i)) - 1}{\exp(L(U_i)) + 1}} \right) \quad (5).$$

Für das aus [3] bekannte Verfahren ergibt sich folgende Ausgangssituation: Gegeben sind natürliche Zahlen k , n und Mengen $J_{k+1}, \dots, J_n \subseteq \{1, \dots, k\}$, die die Eigenschaften des Kanalcodierers beschreiben, sowie die nichtnegative reelle Zahl $\frac{N_0}{E_b}$. Mit k wird die Anzahl digitaler Werte des Codewortes \underline{u} bezeichnet. Mit n wird die Anzahl der digitalen Werte des Kanalcodewortes $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$, mit $n > k$, bezeichnet. Die $n-k$ digitalen Werte, die dem Codewort \underline{u} bei der Bildung des Kanalcodewortes \underline{c} hinzugefügt werden, die auch als Prüfbits bezeichnet werden, werden durch $J_{k+1}, \dots, J_n \subseteq \{1, \dots, k\}$ charakterisiert.

Ferner ist ein Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, S, P) und eine n -dimensionale Zufallsvariable C

$$C: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}^n \quad (6)$$

mit folgenden Eigenschaften gegeben:
- Komponenten

$$C_1, \dots, C_k: \Omega \rightarrow \{\pm 1\} \quad (7)$$

der n -dimensionalen Zufallsvariable \underline{C} sind stochastisch unabhängig und es gilt für alle $i=1, \dots, k$:

$$P(\{\omega \in \Omega; C_i(\omega) = -1\}) = P(\{\omega \in \Omega; C_i(\omega) = +1\}) = \frac{1}{2} \quad (8).$$

- Für jedes $i \in \{k+1, \dots, n\}$ und für alle $\omega \in \Omega$ gilt:

$$C_i(\omega) = \bigoplus_{j \in J_i} C_j(\omega) \quad (9).$$

Die digitalen Werte, die durch die Kanalcodierung gebildet werden, d.h. die Kanalcodeworte \underline{c} werden als Realisierung der Zufallsvariablen \underline{C} interpretiert.

Die zu rekonstruierende Ausgabe \tilde{u} des Kanaldecodierers, die im weiteren als Menge digitaler Signalwerte bezeichnet wird, sind die entsprechende Realisierung der Zufallsvariablen

$$U: \Omega \rightarrow \{\pm 1\}^k, \omega \mapsto (C_1(\omega), \dots, C_k(\omega))^T \quad (10).$$

Die Ausgabe

$$\underline{y} \in \mathbb{R}^n \quad (11).$$

der Einheit zur Demodulation bzw. der Vektor, der das elektrische Signal beschreibt und für den die Decodierung erfolgt, wird als Realisierung der Zufallsvariablen

$$\underline{Y}: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n, \omega \mapsto \underline{C}(\omega) + \underline{Z}(\omega) \quad (12)$$

interpretiert, wobei $\underline{Z}: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ eine $N\left(0, \frac{N_0 n}{2E_b k}, I_n\right)$ -normal ver-

teilte Zufallsvariable ist, die stochastisch unabhängig von der n-dimensionalen Zufallsvariable \underline{C} ist. Basierend auf dem das empfangene elektrische Signal beschreibenden Vektors \underline{y} wird das Codewort \tilde{u} rekonstruiert.

Um die einzelnen digitalen Signalwerte zu rekonstruieren, wird die Verteilung der Zufallsvariablen \underline{C} unter der Bedingung untersucht, daß der das elektrische Signal beschreibende Vektor \underline{y} empfangen wurde.

Die durch diese Verteilung induzierten Wahrscheinlichkeiten werden als A posteriori-Wahrscheinlichkeiten bezeichnet.

Es werden für jedes $\varepsilon > 0$ die folgenden Größen betrachtet:

$$\begin{aligned}
 L_{\varepsilon}(U_i|\underline{y}) &:= \ln \frac{P\left(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = +1\} \middle| \{\omega \in \Omega; \underline{Y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\}\right)}{P\left(\{\omega \in \Omega; U_i(\omega) = -1\} \middle| \{\omega \in \Omega; \underline{Y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\}\right)} = \\
 &= \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} P\left(\{\omega \in \Omega; \underline{C}(\omega) = \underline{v}\} \middle| \{\omega \in \Omega; \underline{Y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\}\right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} P\left(\{\omega \in \Omega; \underline{C}(\omega) = \underline{v}\} \middle| \{\omega \in \Omega; \underline{Y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\}\right)}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Für $i = 1, \dots, k$, wobei

$$M_{\underline{y}, \varepsilon} := [y_1, y_1 + \varepsilon] \times \dots \times [y_n, y_n + \varepsilon] \tag{14}$$

und C die Menge aller Kanalcodewörter \underline{c} bezeichnet.

Durch Verwendung des Satzes von Bayes ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 L_{\varepsilon}(U_i|\underline{y}) &:= \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} P\left(\{\omega \in \Omega; \underline{Y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\} \middle| \{\omega \in \Omega; \underline{C}(\omega) = \underline{v}\}\right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} P\left(\{\omega \in \Omega; \underline{Y}(\omega) \in M_{\underline{y}, \varepsilon}\} \middle| \{\omega \in \Omega; \underline{C}(\omega) = \underline{v}\}\right)} \\
 &= \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \int_{M_{\underline{y}, \varepsilon}} \exp\left(-\frac{(\underline{x} - \underline{v})^T (\underline{x} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}}\right) d\mathbf{x}}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \int_{M_{\underline{y}, \varepsilon}} \exp\left(-\frac{(\underline{x} - \underline{v})^T (\underline{x} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}}\right) d\mathbf{x}}
 \end{aligned}$$

(15).

Betrachtet man durch mehrfache Verwendung der Regel von De L'Hospital den Grenzübergang von (14) für $\varepsilon \rightarrow 0$, so erhält man für jedes Zeichen die Soft-Outputs $L(U_i|\underline{y})$ nach folgender Vorschrift:

$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)} \quad (16).$$

10

Die Soft-Outputs, die zum einen üblicherweise eine Vorzeicheninformation und eine Zuverlässigkeitsinformation (Absolutbetrag des Soft-Outputs) enthalten, werden im weiteren als Zuverlässigkeitsmaß bezeichnet.

15

Völlig analog erhält man für $i = k + 1, \dots, n$:

$$L \left(\bigoplus_{j \in J_i} U_j | \underline{y} \right) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)} \quad (17).$$

20 Die Decodierung bei dem bekannten Verfahren erfolgt derart, daß für den Fall, daß das Zuverlässigkeitsmaß einen Wert größer 0 aufweist, die i -te Komponente u_i des zu rekonstruierenden Codewortes \tilde{u} mit dem zweiten Wert (logisch „1“ oder lo-

gisch „-1“) rekonstruiert wird. Für einen Wert des Zuverlässigkeitsmaßes kleiner 0 wird dem digitalen Signalwert der erste Wert (logisch „0“ oder logisch „+1“) zugeordnet. Für den Wert des Zuverlässigkeitsmaßes gleich 0 kann man sich willkürlich für den ersten oder den zweiten Wert entscheiden. Der Absolutbetrag des Zuverlässigkeitsmaßes ist ein Maß für die Zuverlässigkeit der obigen Entscheidungsregeln. Je größer der Absolutbetrag ist, desto zuverlässiger ist die Rekonstruktion.

Nachteilig an diesem bekannten Verfahren ist der Aufwand zur rechnergestützten Ermittlung des Zuverlässigkeitsmaßes. Die Ermittlung des Zuverlässigkeitsmaßes erfordert im allgemeinen einen Aufwand an Additionen, der proportional zu

$\min(2^k, 2^{n-k})$ ist. Somit ist die direkte Berechnung der Zuverlässigkeitsmaße und die Ermittlung der digitalen Werte abhängig von den Zuverlässigkeitsmaßen häufig nicht numerisch realisierbar. Für den sog. BCH(255, 191)-Code (vgl. [2]) wären für die Berechnung der 191 Zuverlässigkeitsmaße und digitalen Signalwerte ca. 10^{20} Additionen erforderlich.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal, welches Signalinformation und aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation enthält, anzugeben, bei denen eine gegenüber dem bekannten Verfahren vereinfachte Ermittlung möglich ist.

Das Problem wird durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1 sowie durch die Anordnung gemäß Patentanspruch 10 gelöst.

Bei dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 wird aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwertes approximiert und abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß der Signalwert ermittelt.

Die Anordnung gemäß Patentanspruch 10 enthält eine Recheneinheit, die derart eingerichtet ist, daß aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwertes approximiert wird und daß abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß der Signalwert ermittelt wird.

Durch die Approximation des bisher exakt zu ermittelnden Zuverlässigkeitsmaßes, von dem abhängig der Signalwert ermittelt wird, wird eine erhebliche Vereinfachung bei der Ermittlung des digitalen Signalwerts erreicht. Dies führt zu einer erheblich schnelleren Durchführbarkeit des Verfahrens durch einen Rechner bzw. zur erheblichen Einsparung an Kosten für die Realisierung der Anordnung zur Ermittlung des digitalen Signalwerts. Damit wird häufig erst eine numerische Lösung der Soft-Decision-Decodierung überhaupt möglich.

Anschaulich ist die Erfindung darin zu sehen, daß das bisher lediglich exakt berechenbare Zuverlässigkeitsmaß approximiert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es vorteilhaft, daß die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart erfolgt, daß eine Zielfunktion optimiert wird, wobei die Zielfunktion ein Modell eines Übertragungskanals, über den das elektrische Signal übertragen wurde, enthält.

Durch diese Ausgestaltung ist eine sehr einfache und somit schnell durchführbare Möglichkeit angegeben, die sogar die Eigenschaften des Übertragungskanals und somit die Störeigenschaften des gestörten Signals berücksichtigt.

Die Minimierung der Zielfunktion, die als Approximationskriterium die Eigenschaften des Kanals in Form des Modells enthält, führt dazu, daß die Effizienz des Verfahrens bzw. der

Anordnung erheblich verbessert wird. Durch diese Weiterbildung wird eine gegenüber bekannten Verfahren bei gleicher Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei der Ermittlung der digitalen Signalwerte eine erhebliche Reduktion des Signal-/Rausch-

5 Verhältnisses $\frac{N_0}{E_b}$ erreicht. Die Verbesserung des Signal-

rauschverhältnisses beträgt je nach verwendeter Kanalcodierung bis annähernd 3 dB, was der theoretisch maximal erreichbaren Verbesserung entspräche.

10 Schon eine Einsparung von 1 dB kann beispielsweise bei der Funkübertragung von Raumsonden zu einer Kostenersparnis von etwa 75 Mio US-\$ bei dem Bau der Raumsonde führen. Somit wird auch für den Sender erhebliche Kosteneinsparung möglich, wenn die Decodierung nach dieser Weiterbildung erfolgt, bzw. die

15 Anordnung gemäß der Weiterbildung derart eingerichtet ist, daß die Approximation durch Optimierung einer Zielfunktion, die ein Modell des Übertragungskanals enthält, erfolgt, erreicht wird.

20 Ferner ist es in einer Weiterbildung sowohl des Verfahrens als auch der Anordnung vorteilhaft, daß die Zielfunktion nach folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2 .$$

25

Hierbei ist eine veränderte Skalierung oder eine leichte Abänderung und Vernachlässigung einiger Werte in der Zielfunktion sowie der Grad der Zählerfunktion (Grad der Zielfunktion) nicht wesentlich und kann beliebig verändert werden.

30

Durch diese Zielfunktion ist ein Modell angegeben für den Übertragungskanal, in dem die angenommenen Modelleigenschaften

ten des Übertragungskanals berücksichtigt wird, was bei Optimierung der Zielfunktion, beispielsweise einer Minimierung der Fehlerfunktion sehr gute Ergebnisse bei der Ermittlung der Signalwerte nach der Optimierung liefert.

5

Ferner ist es vorteilhaft, die Zielfunktion einer globalen Minimierung zu unterziehen, da durch diese Vorgehensweise die in dem elektrischen Signal enthaltene Information im Rahmen der Optimierung und somit auch bei der Ermittlung des Signal-

10

werts optimal ausgenutzt wird.

Es ist ferner vorteilhaft, daß das elektrische Signal ein Funksignal ist und somit die Anordnung ein Funkübertragungssystem mit einer erfindungsgemäße Anordnung ist, da das Ver-

15

fahren gerade im Bereich der Funkübertragung, insbesondere bei der Übertragung von Funksignalen durch eine Raumsonde erhebliche Einsparungen ermöglicht.

20

Das Verfahren kann ferner vorteilhaft eingesetzt werden bei der Archivierung und Rekonstruktion archivierter gespeicherter digitaler Daten, die in einem Speichermedium (z.B. Magnetbandspeicher, Festplattenspeicher, etc.), da auch bei dieser Anwendung ein verbessertes Signal-/Rausch-Verhältnis von erheblicher Bedeutung ist.

25

In den Figuren sind Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben, die im weiteren näher erläutert werden.

Es zeigen

30

Fig. 1 ein Ablaufdiagramm, in dem das Verfahren, welches in einer Recheneinheit durchgeführt wird, in seinen einzelnen Verfahrensschritten dargestellt ist;

35

Fig. 2 ein Blockschaltbild, bei dem das Senden, das Übertragen und das Empfangen des elektrischen Signals dargestellt ist;

Fig. 3 eine Skizze eines Funkübertragungssystems;

Fig. 4 eine Skizze eines Archivierungssystems zur Archivierung digitaler Daten.

5 In Fig. 2 ist symbolisch eine Quelle 201 dargestellt, von der aus eine Nachricht N zu einer Senke 209 übertragen werden soll.

10 Die zu übertragende Nachricht N wird einem Quellencodierer 202 zugeführt, wo sie derart komprimiert wird, daß zwar keine Informationen verloren gehen, aber für die Decodierung der Nachricht überflüssige Redundanzinformation eliminiert wird und somit die benötigte Übertragungskapazität verringert wird.

15 Ausgabe des Quellencodierers 202 ist das Codewort $\underline{u} \in \{\pm 1\}^k$, das aus einer Folge digitaler Werte besteht. Dabei ist für jedes Codewort \underline{u} vorausgesetzt, daß jeder Wert u_i , $i=1, \dots, k$ des Codewortes \underline{u} mit gleicher Wahrscheinlichkeit einen ersten Wert (logisch „0“ oder logisch „+1“) bzw. einen zweiten Wert
20 (logisch „1“ oder logisch „-1“) annimmt.

Das Codewort \underline{u} wird einer Einheit zur Kanalcodierung 203 zugeführt, in der eine Kanalcodierung des Codeswortes \underline{u} erfolgt. Bei der Kanalcodierung wird dem Codewort \underline{u} gezielt
25 Redundanzinformation hinzugefügt, um bei der Übertragung möglicherweise entstehende Übertragungsfehler korrigieren oder zumindest erkennen zu können, und somit eine hohe Übertragungszuverlässigkeit zu erreichen.

30 Im weiteren wird davon ausgegangen, daß durch die Kanalcodierung jedem Codewort $\underline{u} \in \{\pm 1\}^k$ ein Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$ zugeordnet wird. Die Ausgabe der Einheit zur Kanalcodierung 203 besteht somit aus dem Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$.

35 Das Kanalcodewort $\underline{c} \in \{\pm 1\}^n$ wird einer Einheit zur Modulation 204 des Kanalcodewortes \underline{c} zugeführt. Bei der Modulation wird

dem Kanalcodewort \underline{c} eine für die Übertragung über einen physikalischen Kanal 205 geeignete Funktion $s: \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}$ zugeordnet.

5 Das zu übertragende Signal enthält also sowohl Signalinformation, d.h. das Kanalcodewort \underline{c} als auch aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation, d.h. zusätzlich sog. Prüfwerte. Das modulierte Signal s wird über den physikalischen Kanal 205 zu einer Empfängereinheit übertragen. Bei der
10 Übertragung über den physikalischen Kanal 205 tritt häufig eine Störung 210 auf, die das modulierte Signal s verfälscht. Somit liegt bei der Empfängereinheit ein verändertes modulierte Signal \tilde{s} an, welches Einheit zur Demodulation 206 zugeführt wird.

15 In der Einheit zur Demodulation 206 erfolgt eine Demodulation des veränderten modulierten Signals \tilde{s} . Ausgabe der Demodulation ist eine im weiteren als elektrisches Signal bezeichneter Vektor $\underline{y} \in \mathfrak{R}^n$, welcher das digitale, demodulierte veränderte
20 Signal \tilde{s} beschreibt.

Im Rahmen der weiteren Betrachtungen wird zur Modellierung des physikalischen Kanals 205 das Modell des sog. AWGN-Kanals, wie oben beschrieben wurde, verwendet. Zur Vereinfachung
25 wird im weiteren sowohl die Einheit zur Modulation 204 als auch die Einheit zur Demodulation 206 des Senders 200 bzw. des Empfängers 211 in dem Modell des Übertragungskanals mit berücksichtigt.

30 Das elektrische Signal \underline{y} wird in einer Einheit zur Kanaldecodierung 207 einer Kanaldecodierung unterzogen. Vektorkomponenten y_i des elektrischen Signals \underline{y} enthalten sowohl eine Vorzeicheninformation als auch eine Betragsinformation.

35 Die Betragsinformation ist jeweils der Absolutbetrag der Vektorkomponente y_i , der auch als Zuverlässigkeitsinformation

15

für das entsprechende Vorzeichen der Vektorkomponente y_i bezeichnet wird.

Bei der Kanaldecodierung besteht die Aufgabe, eine sog. Soft-
5 Decision-Decodierung durchzuführen. Dies bedeutet, daß zum
einen ein rekonstruiertes Codewort \tilde{u} rekonstruiert wird und
ferner für jede Komponente eine Zuverlässigkeitsinformation
ermittelt wird, das die getroffene Entscheidung zur Rekon-
struktion einer Komponente \tilde{u}_i des rekonstruierten Codeworts
10 \tilde{u} beschreibt. Eine Komponente \tilde{u}_i des rekonstruierten Code-
worts \tilde{u} wird im weiteren als digitaler Signalwert bezeich-
net.

Das rekonstruierte Codewort \tilde{u} , d.h. mindestens ein digitaler
15 Signalwert wird einer Einheit zur Quellendecodierung 208 zu-
geführt, in der eine Quellendecodierung erfolgt. Das deco-
dierte Signal wird schließlich der Senke 209 zugeführt.

In Fig. 1 ist die Kanaldecodierung 207 detaillierter in Form
20 eines Ablaufdiagramms beschrieben.

In einem ersten Schritt 101 wird eine Zielfunktion f , die ein
nichtlineares Regressionsmodell des Übertragungskanals 204,
205, 206, enthält, optimiert.

25 Im weiteren wird zur Veranschaulichung das nichtlineare Re-
gressionsmodell hergeleitet.

Aus der oben beschriebenen Vorschrift (16) zur exakten Er-
30 mittlung des Zuverlässigkeitsmaßes:

$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)} \quad (16),$$

wobei mit

- N_0 eine einseitige Rauschleistungsdichte,
- n eine Anzahl von in dem Signal enthaltenen digitalen
- 5 Signalwerten,
- E_b eine mittlere Signalenergie für einen der k Signalwerte, d.h. der Informationsbits,
- k eine Anzahl in dem elektrischen Signal enthaltener digitaler Signalwerte,
- 10 - \underline{y} ein Vektor aus \mathfrak{R}^n , welcher das Signal beschreibt,
- C die Menge aller Kanalcodeworte,
- \underline{c} eine n -dimensionale Zufallsgröße zur Beschreibung des Signalwerts,
- \underline{v} ein Vektor aus C ,
- 15 - i ein Index zur eindeutigen Bezeichnung des Signalwerts v_i ,
- U_i eine Zufallsvariable des Signalwerts v_i ,
- $L(U_i|\underline{y})$ das Zuverlässigkeitsmaß,
- J_i eine Menge digitaler Werte der Redundanzinformation, und
- 20 - j ein weiterer Index bezeichnet wird,

lassen sich im Zähler der Faktor

$$\exp \left(- \frac{(y_i - 1)^2}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right) \quad (18)$$

und im Nenner der Faktor

$$\exp \left(- \frac{(y_i + 1)^2}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right) \quad (19)$$

ausklammern.

5

Nach der Ausklammerung ergibt sich für alle $i = 1, \dots, k$ mit entsprechenden Faktoren τ_i , die nun nicht mehr von den Komponenten y_i des elektrischen Signals abhängen, folgende Vorschrift:

10

$$L(U_i | \underline{y}) = \ln \frac{\exp \left(- \frac{(y_i - 1)^2}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\exp \left(- \frac{(y_i + 1)^2}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)} + \tau_i = \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i + \tau_i \quad (20).$$

Für $i = k + 1, \dots, n$ gilt:

$$15 \quad L \left(\bigoplus_{j \in J_i} U_j | \underline{y} \right) = \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i + \tau_i \quad (21).$$

20 Wäre der physikalische Kanal 205 nicht gestört, dann würde für $i = 1, \dots, k$ allein die Beobachtung der jeweiligen Komponente y_i des elektrischen Signals genügen, um die Verteilung von U_i unter der Bedingung, daß die Zufallsvariable \underline{Y} den Wert \underline{y} annimmt, festzulegen. Somit wären alle Faktoren $\tau_i = 0$. Analog verhält es sich für $i = k + 1, \dots, n$ mit der Verteilung $\bigoplus_{j \in J_i} U_j$ unter der Bedingung, daß die Zufallsvariable \underline{Y} den Wert \underline{y} annimmt. Auch in diesem Fall wären alle Faktoren $\tau_i = 0$. Somit sind die Absolutbeträge der Faktoren τ_1, \dots, τ_n ein Maß für die Kanalstörung.

25

Unter der Bedingung, daß das Signal \underline{y} empfangen wurde, geht die stochastische Unabhängigkeit der Variablen U_1, \dots, U_k , verloren.

5

Es gilt somit für $i = k + 1, \dots, n$ mit entsprechendem Fehlerfaktor ρ_i :

$$L\left(\bigoplus_{j \in J_i} U_j | \underline{y}\right) = \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}} \right) + \rho_i \quad (22).$$

10

Auch für die Fehlerfaktoren $\rho_{k+1}, \dots, \rho_n$ ist offensichtlich, daß alle $\rho_{k+1}, \dots, \rho_n$ gleich 0 gesetzt werden können, falls der physikalische Kanal nicht gestört ist.

15 Insgesamt ergibt sich folgende Vorschrift:

$$\frac{4E_{b,k}}{N_{0n}} \underline{y} = \begin{pmatrix} L(U_1 | \underline{y}) \\ \vdots \\ L(U_k | \underline{y}) \\ \ln \frac{1 + \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}} \\ \vdots \\ \ln \frac{1 + \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(L(U_j | \underline{y})) - 1}{\exp(L(U_j | \underline{y})) + 1}} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_k \\ \tau_{k+1} - \rho_{k+1} \\ \vdots \\ \tau_n - \rho_n \end{pmatrix}$$

(23).

Ersetzt man nun die Werte

$$\begin{aligned} \text{für } i = 1, \dots, k \quad L(U_i | \underline{y}) &= \beta_i; \quad -\tau_i = e_i \\ \text{für } i = k+1, \dots, n \quad \rho_i - \tau_i &= e_i \end{aligned} \quad (24),$$

5

so folgt daraus das folgende nichtlineare Regressionsproblem:

$$\frac{4E_{bk}}{N_{0n}} \underline{y} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \\ \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_{k+1}} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) \\ \vdots \\ \ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_n} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) \end{pmatrix} + \underline{e} \quad (25).$$

- 10 Da ein Fehlervektor \underline{e} gleich dem Nullvektor ist, falls keine Störung des physikalischen Kanals gegeben ist und aufgrund des stochastischen Modells der Kanalstörung wird vorausgesetzt, daß der Fehlervektor \underline{e} eine Realisierung einer Zufallsvariablen $\underline{E}: \Omega \rightarrow \mathfrak{R}^n$ ist mit Erwartungswert $E(\underline{E}=0)$. Die
- 15 Zuverlässigkeitsmaße werden also durch Minimierung des Einflusses der Kanalstörung approximiert.

Jeweils ein Zuverlässigkeitsmaß dient zur Rekonstruktion jeweils eines digitalen Signalwerts.

Das nichtlineare Regressionsproblem wird durch eine Zielfunktion f formuliert und gelöst, wenn die Zielfunktion f optimiert, in diesem Fall minimiert wird.

- 5 Die Zielfunktion f wird nach folgender Vorschrift gebildet:

$$\min \{ \underline{e}(\beta)^T \underline{e}(\beta) \} = \min \{ f \}$$

mit

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_{bk}}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) - \frac{4E_{bk}}{N_0 n} y_i \right)^2$$

10

(26).

Die Lösung des nichtlinearen Regressionsproblems erfolgt durch Minimierung der Zielfunktion f .

- 15 Für die Minimierung der Zielfunktion f wird ein Verfahren zur globalen Minimierung, welches aus [4] bekannt ist, verwendet.

- Die Zielfunktion f ist im allgemeinen nicht konvex und deshalb ist es vorteilhaft, zur Minimierung der Zielfunktion einen Algorithmus zur globalen Minimierung einzusetzen, weil es auf diese Weise möglich ist, die gegebenen Informationen im Sinne der Informationstheorie optimal auszunutzen.

- 25 Für die Komponenten y_i des elektrischen Signals \underline{y} wird unter Verwendung eines neuronalen Netzes, dessen Struktur sich durch die ermittelten Parameter der optimierten Zielfunktion f ergeben, jeweils ein Zuverlässigkeitsmaß approximiert (Schritt 102).

- 30 In einem letzten Schritt 103 wird der digitale Signalwert bzw. die digitalen Signalwerte \tilde{u}_i aus dem elektrischen Signal \underline{y} abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß ermittelt. Dabei

wird als Kriterium zur Zuordnung des ersten bzw. des zweiten Wertes zu dem digitalen Signalwert \tilde{u}_i die Vorzeicheninformation des jeweiligen Zuverlässigkeitsmaßes verwendet.

- 5 Weist das Zuverlässigkeitsmaß einen Wert größer 0 auf, so wird dem digitalen Signalwert \tilde{u}_i der zweite Wert (logisch „1“ oder logisch „-1“) zugeordnet und weist das Zuverlässigkeitsmaß einen Wert kleiner 0 auf, so wird dem digitalen Signalwert \tilde{u}_i der erste Wert (logisch „0“ bzw. logisch „+1“) zugeordnet.
- 10

Dies wird für alle zu rekonstruierenden digitalen Signalwerte \tilde{u}_i durchgeführt, deren Rekonstruktion erwünscht ist.

- 15 Die Anordnung zur Kanaldecodierung 207 ist derart ausgestaltet, daß das oben beschriebene Verfahren durchgeführt wird. Dies kann durch Programmierung einer Recheneinheit oder auch durch eine auf das Verfahren abgestimmte elektrische Schaltung erfolgen.

20

Im weiteren werden einige Alternativen und Verallgemeinerungen des oben beschriebenen Verfahrens bzw. der Anordnung aufgezeigt:

- 25 Es ist nicht notwendig, eine globale Minimierung der Zielfunktion durchzuführen. Die Minimierung kann ebenfalls durch ein Verfahren zur lokalen Minimierung erfolgen, z.B. mittels des sog. BFGS-Verfahrens (Broyden, Fletcher, Goldfarb, Shanno-Verfahren). Auch ist die Minimierung der Zielfunktion nicht auf das in [4] beschriebene Verfahren beschränkt. Weitere Verfahren zur Minimierung können ebenso eingesetzt werden.
- 30

- Auch ist es nicht erforderlich, daß als Zielfunktion eine quadratische Norm minimiert wird, allgemein kann jede beliebige Norm des Vektors $e(\beta)$ eingesetzt werden.
- 35

In Fig. 3 ist ein Funkübertragungssystem dargestellt, welches eine Anordnung mit den oben beschriebenen Merkmalen enthält. Eine Sendeeinrichtung 301, vorzugsweise eine Raumsonde überträgt ein Funksignal 303 über einen physikalischen Kanal 205, in diesem Fall durch Luft. Das Funksignal 303 wird über eine Antenne 302 der Empfängeranordnung 305 empfangen und als elektrisches Signal der Anordnung 304 zugeführt, die das Mittel zur Demodulation 206, das Mittel zur Kanaldecodierung 207, sowie das Mittel zur Quellendecodierung 208 enthält.

In Fig. 4 ist ein System 403 zur Rekonstruktion archivierter digitaler Daten dargestellt. In einem Speicher 401, z.B. einem magnetischer Speicher (Magnetbandspeicher, Festplattenspeicher, etc.) werden digitale Daten archiviert. Bei der Rekonstruktion kann unter Verwendung einer Anordnung mit dem Mittel zur Kanaldecodierung 207 das oben beschriebene Verfahren zur Rekonstruktion des mindestens einen digitalen Signalwerts \tilde{u}_i aus dem elektrischen Signal, welches in diesem Fall aus dem Speicher 401 ausgelesene digitalen Signale beschreibt, durchgeführt werden.

Anschaulich ist die Erfindung darin zu sehen, daß das bisher lediglich exakt berechenbare Zuverlässigkeitsmaß approximiert wird.

Im Rahmen dieses Dokumentes wurden folgende Veröffentlichungen zitiert:

- 5 [1] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, S. 1-30, 1996
- 10 [2] B. Friedrichs, Kanalcodierung, Grundlagen und Anwendungen in modernen Kommunikationssystemen, Springer Verlag, ISBN 3-540-59353-5, S. 69-125, S.193-242, 1996
- 15 [3] J. Hagenauer et al, Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes, IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 42, 1996
- [4] S. Schäffler, Unconstrained Global Optimization Using Stochastic Integral Equations, Optimization, Vol. 35, S. 43-60, 1995

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal, welches Signalinformation und aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation enthält,
 - bei dem aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwerts approximiert wird, wobei die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart erfolgt, daß eine Zielfunktion, die ein Modell eines Übertragungskanals enthält, über den das elektrische Signal übertragen wurde, optimiert wird, und
 - bei dem abhängig von dem jeweiligen Zuverlässigkeitsmaß der digitale Signalwert ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
 bei dem mehrere digitale Signalwerte aus dem elektrischen Signal ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
 bei dem das Modell ein nichtlineares Regressionsmodell des Übertragungskanals ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
 bei dem die Zielfunktion nach folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} - \frac{4E_b k}{N_0 n} y_i \right) \right)^2$$

mit

$$\beta_i = L(U_i | \underline{y}), \text{ und mit}$$

$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}, \text{ wobei mit}$$

- N_0 eine einseitige Rauschleistungsdichte,
- 5 - n eine Anzahl von in dem Signal enthaltenen digitalen Signalwerten,
- E_b eine mittlere Signalenergie für einen der k Signalwerte,
- k eine Anzahl in dem elektrischen Signal enthaltener digitaler Signalwerte,
- 10 - \underline{y} ein Vektor aus \mathcal{R}^n , welcher das Signal beschreibt,
- C die Menge aller Kanalcodeworte,
- \underline{c} eine n -dimensionale Zufallsgröße zur Beschreibung des Signalwerts,
- \underline{v} ein Vektor aus C ,
- 15 - i ein Index zur eindeutigen Bezeichnung des Signalwerts v_i ,
- U_i eine Zufallsvariable des Signalwerts v_i ,
- $L(U_i|\underline{y})$ das Zuverlässigkeitsmaß,
- J_i eine Menge digitaler Werte der Redundanzinformation, und
- 20 - j ein weiterer Index

bezeichnet wird.

- 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
- 25 bei dem die Zielfunktion einer globalen Minimierung unterzogen wird.

- 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

- bei dem das Zuverlässigkeitsmaß eine Vorzeicheninformation und eine Betragsinformation aufweist, und
- bei dem die Ermittlung des Signalwerts nur abhängig von der Vorzeicheninformation erfolgt.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem das elektrische Signal ein systematischer Blockcode ist.

10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das elektrische Signal ein Funksignal ist.

15

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem das elektrische Signal ein restauriertes Signal archivierter digitaler Daten ist.

20

10. Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal, welches Signalinformation und aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation enthält,

mit einer Recheneinheit, die derart eingerichtet ist,

25

- daß aus dem elektrischen Signal ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung des Signalwerts approximiert wird, wobei die Approximation des Zuverlässigkeitsmaßes derart erfolgt, daß eine Zielfunktion, die ein Modell eines Übertragungskanals enthält, über den das elektrische Signal übertragen wurde, optimiert wird, und

- daß abhängig von dem jeweiligen Zuverlässigkeitsmaß der digitale Signalwert ermittelt wird.

30

11. Anordnung nach Anspruch 10, mit einer Empfängereinheit zum Empfangen des elektrischen Signals und zur Zuführung des elektrischen Signals zu der Recheneinheit.

35

12. Anordnung nach Anspruch 11,

mit einer Demodulatoreinheit zur Demodulation des elektrischen Signals, die über einen Eingang mit der Empfängereinheit und über einen Ausgang mit der Recheneinheit verbunden ist.

5

13. Anordnung nach Anspruch 11 oder 12,
bei der die Empfängereinheit eine Antenne aufweist.

14. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 13,
10 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist, daß mehrere digitale Signalwerte aus dem elektrischen Signal ermittelt werden.

15. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 14,
15 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist, daß das Modell ein nichtlineares Regressionsmodell des Übertragungskanals ist.

16. Anordnung nach Anspruch 15,
20 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist,
- daß die Zielfunktion nach folgender Vorschrift gebildet wird:

$$f = \sum_{i=1}^k \left(\beta_i - \frac{4E_{bk}}{N_0 n} y_i \right)^2 + \sum_{i=k+1}^n \left(\ln \left(\frac{1 + \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}}{1 - \prod_{j \in J_i} \frac{\exp(\beta_j) - 1}{\exp(\beta_j) + 1}} \right) - \frac{4E_{bk}}{N_0 n} y_i \right)^2$$

25

mit

$$\beta_i = L(U_i | \underline{y}), \text{ und mit}$$

$$L(U_i|\underline{y}) = \ln \frac{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = +1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}{\sum_{\substack{\underline{v} \in C \\ v_i = -1}} \exp \left(- \frac{(\underline{y} - \underline{v})^T (\underline{y} - \underline{v})}{\frac{N_0 n}{E_b k}} \right)}, \text{ wobei mit}$$

- N_0 eine einseitige Rauschleistungsdichte,
- n eine Anzahl von in dem Signal enthaltenen digitalen
- 5 Signalwerten,
- E_b eine mittlere Signalenergie für einen der k Signalwerte,
- k eine Anzahl in dem elektrischen Signal enthaltener digitaler Signalwerte,
- \underline{y} ein Vektor aus \mathcal{R}^n , welcher das Signal beschreibt,
- 10 - C die Menge aller Kanalcodeworte,
- \underline{c} eine n -dimensionale Zufallsgröße zur Beschreibung des Signalwerts,
- \underline{v} ein Vektor aus C ,
- i ein Index zur eindeutigen Bezeichnung des Signal-
- 15 werts v_i ,
- U_i eine Zufallsvariable des Signalwerts v_i ,
- $L(U_i|\underline{y})$ das Zuverlässigkeitsmaß,
- J_i eine Menge digitaler Werte der Redundanzinformation, und
- j ein weiterer Index
- 20 bezeichnet wird.

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 16,
 bei der die Recheneinheit derart eingerichtet ist, daß die
 25 Zielfunktion einer globalen Minimierung unterzogen wird.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, welche einem Funkübertragungssystem zugeordnet ist.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, welche einem System zur Rekonstruktion archivierter digitaler Daten zugeordnet ist.

Zusammenfassung

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung mindestens eines digitalen Signalwerts aus einem elektrischen Signal

5

Das elektrische Signal enthält Signalinformation aus der Signalinformation ermittelte Redundanzinformation zu der Signalinformation. Aus dem elektrischen Signal wird ein Zuverlässigkeitsmaß zur Bildung mindestens eines Signalwertes

10

approximiert und abhängig von dem Zuverlässigkeitsmaß wird der Signalwert ermittelt. Dies erfolgt dadurch, daß eine Zielfunktion, die ein Modell eines Übertragungskanals enthält, optimiert wird (Schritt 101) und die Approximation unter Verwendung der Zielfunktion (Schritt 102) erfolgt.

15

Sig. Fig. 1